جهان در پوست گردو

دنبالهٔ کتاب

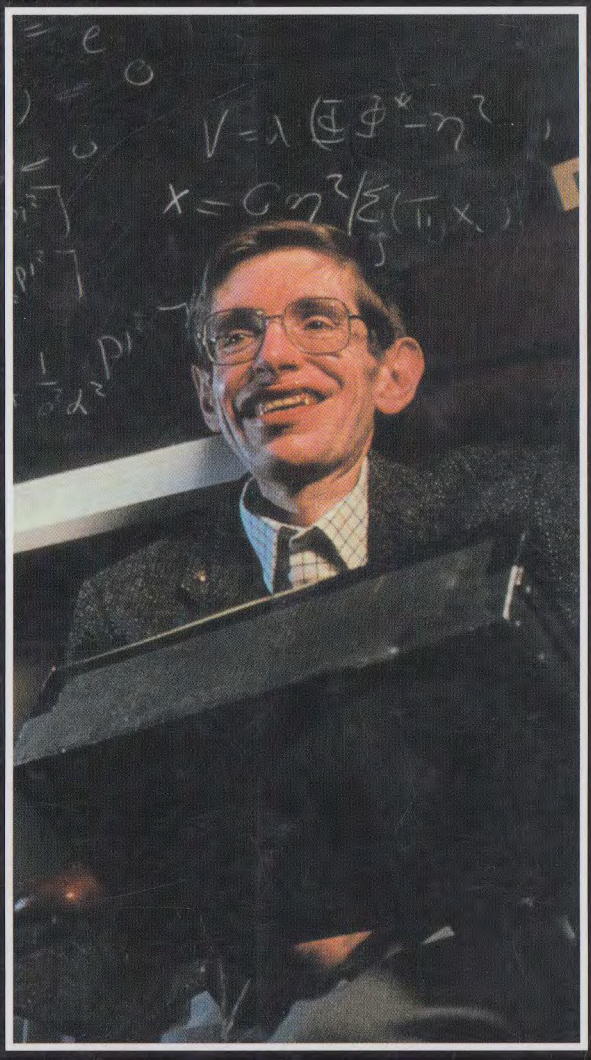
تاریخچه زمان

به همراه آخرین نظرات

استیون هاوکینگ درباره سیاهچاله‌ها

به انضمام مصاحبه

لاری کینگ با پرفسور هاوکینگ



استیون هاوکینگ

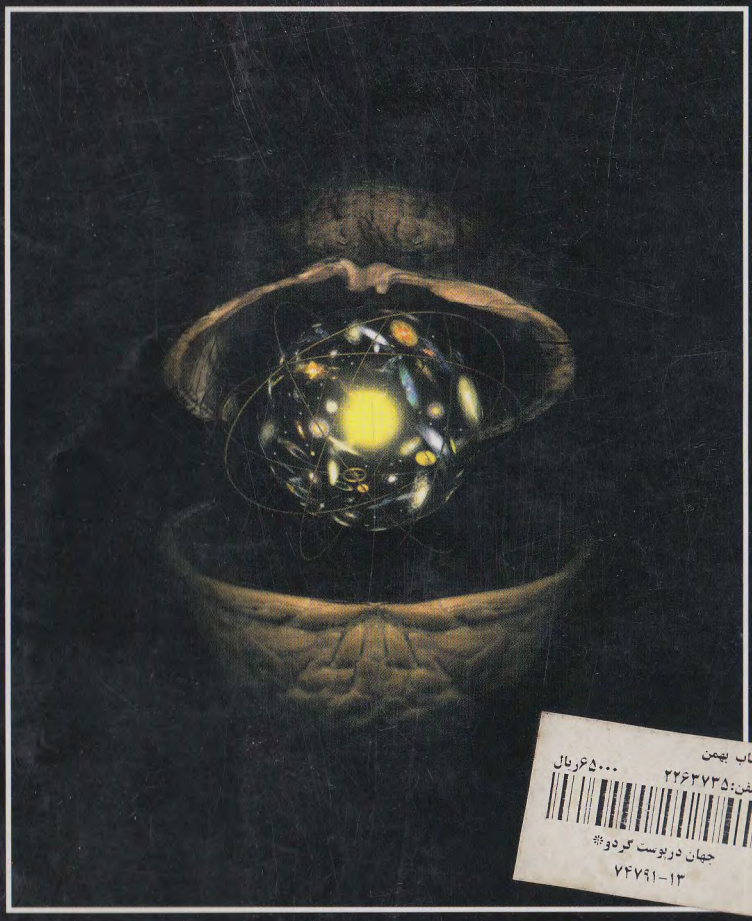
مترجم :

محمدرضا محجوب

برنده جایزه اُونتیس به عنوان بهترین کتاب علمی

STEPHEN HAWKING

THE UNIVERSE IN A NUTSHELL



کتاب بهمن
تلفن: ۲۲۶۳۷۳۵
۶۵۰۰ ریال
جهان در پوست گردو*
۱۳-۷۴۷۹۱

The inspiring sequel to A Brief History of Time

جهان
در پوست گردو

دنبالهٔ کتاب تاریخچهٔ زمان

نوشته
استیون هاوکینگ

ترجمه
محمدرضا محجوب

انتشارات حریر
با همکاری
شرکت سهامی انتشار

سرشناسه:	هاوکینگ، استیون ویلیام، ۱۹۴۲ـ Hawking, Stephen William
عنوان و پدیدآور:	جهان در پوست گردو / نوشتهٔ استیون هاوکینگ؛ مترجم محمدرضا محجوب.
	عنوان اصلی: The Universe in a Nutshell.
مشخصات نشر:	تهران: شرکت سهامی انتشار، ۱۳۸۳.
	چاپ هشتم : ۱۳۸۹
مشخصات ظاهری:	۳۲۶ ص.
شابک:	ISBN 978-964-93342-5-7
یادداشت:	فیپا.
یادداشت:	واژه‌نامه: ص.۳۰۹.
موضوع:	کوانتوم.
شناسه افزوده:	: محجوب، محمدرضا، ۱۳۳۷- مترجم.
رده‌بندی کنگره:	QC ۱۷۴ / ۱۲ / ۹ ج ۲ هـ
رده‌بندی دیویی:	۵۳۰/۱۲
شماره کتابخانه ملی:	۲۵۶۵۱ ـ ۸۳ م

جهان در پوست گردو

نویسنده : استیون هاوکینگ

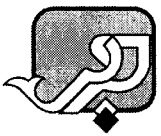
ترجمه : دکتر محمدرضا محجوب

ناشر : انتشارات حریر با همکاری شرکت سهامی انتشار

چاپ هشتم : ۱۳۸۹

چاپخانه حیدری : ۵۲۰۰ نسخه

۶۵۰۰ تومان



نشر حریر

میدان انقلاب، ضلع جنوب‌شرقی، روبروی سینما بهمن،

تالار بزرگ کتاب، شماره ۱۹ تلفن: ۶۶۹۶۵۴۲۶ - ۶۶۴۱۶۹۶۱

www.harir publisher.com

فهرست

پیشگفتار مترجم ۵
پیشگفتار ۱۱

بخش یکم: تاریخچه نسبیت ۱۵
چگونه آینشتین دو نظریه اساسی سده بیستم را بنیان نهاد:
نسبیت عام و نظریه کوانتوم

بخش دوم: ریخت و شکل زمان ۵۱
نظریه نسبیت عام آینشتین به زمان ریخت می‌بخشد
چگونه می‌توان آن را با نظریه کوانتومی آشتی داد

بخش سوم: جهان در پوست گردو ۱۰۱
جهان تاریخهای چندگانه دارد که هر یک با
گردوی کوچکی مشخص می‌شود

بخش چهارم: پیش‌بینی آینده **۱۴۷**
چگونه گم شدن اطلاعات در سیاهچاله‌ها می‌تواند
توانایی ما را در پیش‌بینی آینده کاهش دهد

بخش پنجم: نگاهداری و حفاظت از گذشته **۱۹۳**
آیا سفر کردن در زمان شدنی است؟
آیا تمدنی پیشرفته می‌تواند به گذشته برگردد و آن را تغییر دهد؟

بخش ششم: آینده ما؟ پیشتازان فضا یا نه؟ **۲۲۹**
چگونه زندگی زیستی و الکترونیکی با شتابی فزاینده پیچیده‌تر می‌شود

بخش هفتم: جهان نوین پوسته‌ای **۲۵۵**
آیا ما روی یک پوسته زندگی می‌کنیم یا هولوگرام‌هایی بیش نیستیم؟

پیوستها **۲۹۳**
گزارشی از تازه‌ترین نظریات استیون هاوکینگ در همایش جی‌آر ۱۷ ... ۲۹۵
گفتگوی تلویزیونی لاری‌کینگ با هاوکینگ ۳۰۳

واژه‌نامه **۳۰۹**

خواندنیهای دیگر **۳۲۵**

به‌نام خدا

پیشگفتار مترجم

گفته می‌شود آینشتین چندی پس از دستاورد بزرگش نسبیت عام، تلاش کرد که آن را با نظریه الکترومغناطیس و دیگر نیروهای بنیادین شناخته شده پیوند دهد. او تا دم مرگ دست از جستجوی این نظریه یگانه و واحد برنداشت و کوشید با به‌کارگرفتن ریاضیات پیچیده به آرزوی خود برسد. آینشتین در این تلاش بزرگ کامیاب نشد. عدم اعتماد او به نظریه کوانتومی و تأکید بسیار بر ریاضیات ناب به جای بها دادن به درون‌نگریِ ژرفِ فیزیکیش، از انگیزه‌های این ناکامیابی برشمرده می‌شود.

در این رهگذر، استیون هاوکینگ نیز در طلب این جام‌جم دانش یا به تعبیری نظریه فریبای «**همه چیز**» که در دل کیهان نهفته است، راهیِ سفری ماجراجویانه به مرزهای دانش می‌شود، آیا کلید فرجامین این معما در نظریه ابرریسمان و P-branes یافت می‌شود؟

کتاب **«تاریخچه زمان»** هاوکینگ پرفروش‌ترین کتاب علمی در تاریخ خوانده شده است. با این همه بسیاری از خریداران به خاطر مشکل بودن آن، نتوانستند خواندن کتاب را به پایان برسانند. کتاب **«جهان در پوست گردو»** کوششی است برای جبران و رفع این نقص. از این‌رو شکلها و تصاویر گرافیکی و نمودارها به فراوانی در این کتاب به کار گرفته شده‌اند. بجز بخشهای نخستین، دیگر بخشهای کتاب کمابیش به‌طور مستقل از هم نگاشته شده‌اند تا مطالعه تفننی آسانتر شود. مطالب بخشها متنوع و گوناگون می‌باشند، برای نمونه بخشی به آینده نژاد بشر می‌پردازد و اینکه دانش و فناوری چگونه زندگی مردمان را دگرگون خواهد ساخت. بدین‌سان خواننده‌ای که بخشهایی را بیش از اندازه فنی و تخصصی می‌یابد به آسانی می‌تواند به سراغ بخش دیگر برود.

کتاب جهان در پوست گردو در هفته‌های پایانی سال ۲۰۰۱ منتشر شد و تا مدتها در لیست پرفروش‌ترین کتابهای نشریات معتبر مانند نیویورک تایمز جای گرفت.

این کتاب در تابستان سال ۲۰۰۲ جایزه اونتیس (Aventis) را ــ که زیر مدیریت انجمن پادشاهی و آکادمی ملی پادشاهی متحد اداره و توسط بنیاد آلمانی اونتیس پشتیبانی مالی می‌شود ــ برد و عنوان بهترین کتاب علمی مردم‌پسند را از آن خود ساخت. هاوکینگ در مراسم دریافت جایزه گفت: «برایم غیرمنتظره است. کتاب قبلی من (تاریخچه زمان) هیچ جایزه‌ای نگرفته بود.»

اگرچه برخی از موضوعات کتاب جهان در پوسته گردو با تاریخچه زمان یکسان است، اما پاره‌ای از آنها فلسفیترند. افزون بر آن در کتاب حاضر، به حوزه پژوهشهای بسیار نوین و پرکشش در زمینه مدلهای

پوسته‌ای (brane) پرداخته می‌شود که جهان را بر پوسته یا رویه‌ای در فضای دارای ابعاد بیشتر، مدل‌سازی می‌کند.

در این کتاب هاوکینگ ما را به دورترین مرزهای فیزیک نظری می‌برد، جایی که حقیقت، شگفت‌انگیزتر از داستانهای تخیلی است. این کتاب مجموعه‌ای دلکش از اندیشه‌ها، تصورات، اصول و پیوندهاست که از مکانیک کوانتومی تا نظریه اِم (M Theory)، از نسبیت عام تا ابرگرانش یازده بعدی و پوسته‌های ده بعدی، ابرریسمانها، P-branes، و سیاهچاله‌ها را دربر می‌گیرد.

هاوکینگ پندارها و برداشتهایی چنین شگفت و ناآشنا از جهان را به کمک اثبات‌گرایی علمی، بر زمین سفت واقعیت استوار می‌سازد. بر این پایه، اینکه اینها به راستی وجود دارند یا نه، پرسش بی‌معناییست. بلکه باید پرسید این مدلها با چه دقتی پدیده‌های جهان را که ما آزموده یا اندازه‌گیری می‌کنیم، توصیف یا پیش‌بینی می‌نمایند.

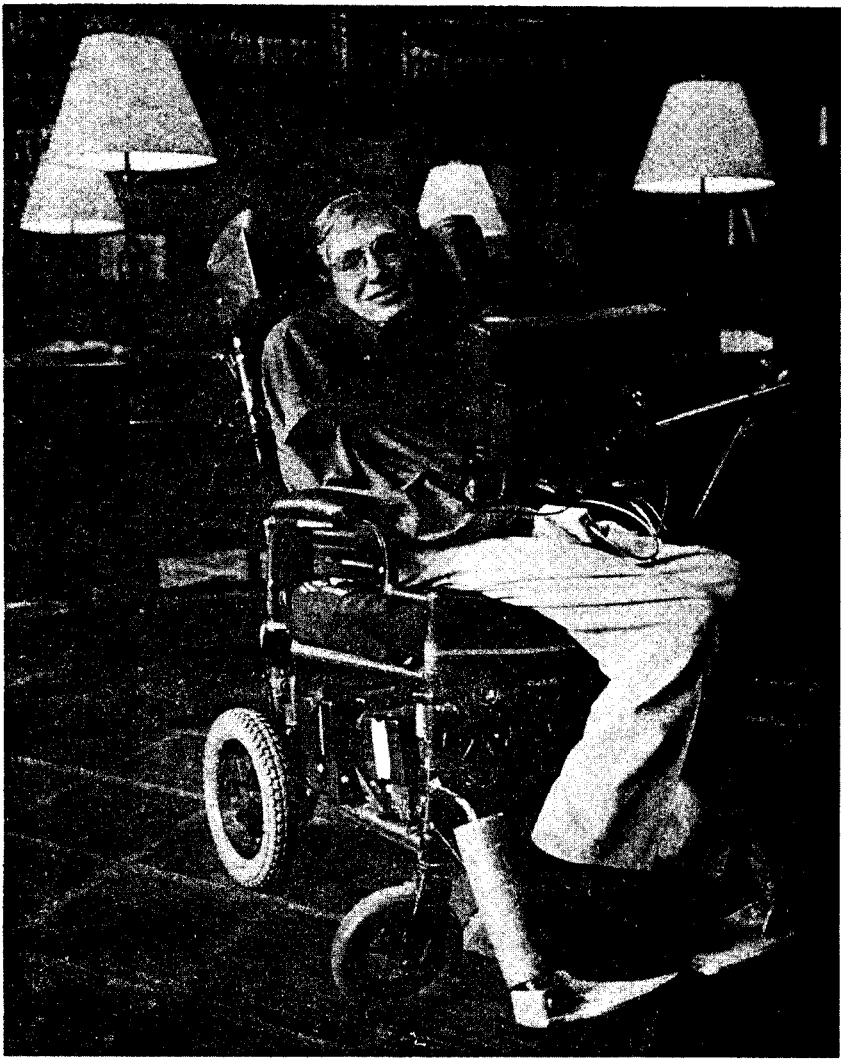
هاوکینگ یکی از پرنفوذترین اندیشمندان زمان کنونی و نمایه روشنفکری است، او اندیشه‌های ماجراجویانه‌اش را به روشنی و با شوخ‌طبعی بازگو می‌کند. در این کتاب او پشت صحنه یکی از هیجان‌انگیزترین ماجراجوییهای فکریش را شرح می‌دهد، یعنی درهم آمیختن نظریه نسبیت عام آینشتین و تاریخهای چندگانه ریچارد فینمن و ساختن یک نظریه یکپارچه کامل که همه آنچه را که در جهان رخ می‌دهد، توصیف کند.

در تابستان سال ۲۰۰۴ هاوکینگ در یک سخنرانی در همایش بین‌المللی گرانش و نسبیت عام (GR17) پاره‌ای از نظریات پیشین خود پیرامون سیاهچاله‌ها را اصلاح کرد. نظر به اهمیت موضوع، گزارش

فشرده‌ای در این باره در پایان کتاب فراهم آمده است تا خوانندگان با آخرین نظریات نویسنده دانشمند آشنا شوند.

در اینجا لازم می‌دانم از تلاش شادروان ناظم‌زاده در ویرایش و تنقیح این کتاب یاد بسیار کنم. او به رغم بیماری سخت، تیزبینی حرفه‌ای خود را با شکیبایی و گشاده‌دستی ــ که ویژگی همیشگیش بود ــ به‌کار بست تا کتاب بهتری در دسترس خواننده پارسی‌زبان قرار گیرد. روانش شاد باد.

شهریورماه ۱۳۸۳



استیون هاوکینگ

پیشگفتار

نتظار نداشتم کتاب مردم‌پسند من، ***تاریخچه زمان***، با چنان موفقیتی روبه‌رو شود. این کتاب برای بیش از چهار سال در لیست پرفروش‌ترین‌های ***ساندی‌تایمز*** قرار داشت. هیچ کتاب دیگری ـ به‌ویژه کتابی نه‌چندان ساده و سهل درباره علم ـ چنین کامیابی تاکنون نداشته است.

پس از آن، مردم از من می‌پرسیدند که کی دنباله این کتاب را خواهم نگاشت؟ من از این کار پرهیز داشتم، زیرا نمی‌خواستم کتاب ***فرزند تاریخچه*** یا ***تاریخ کمی بزرگ زمان*** را بنویسم. افزون بر آن سرگرم پژوهش نیز بودم. اما به این نتیجه رسیدم که جای کتابی متفاوت که آسانتر فهمیده شود خالی است. ***تاریخچه زمان*** به گونه‌ای خطی سامان یافته بود، چنان که بیشتر بخشها، در پی بخشهای پیشین و منطقاً وابسته به آنها نگاشته شده بود. این روش برای بخشی از خوانندگان خوشایند بود، اما دیگران در همان فصلهای اول گرفتار می‌آمدند و هرگز به موضوعهای

هیجان‌انگیزتر بعدی نمی‌رسیدند. ولی کتاب حاضر بیشتر، شبیه درخت است. بخشهای یک و دو تنه اصلی را تشکیل می‌دهند و دیگر بخشها چون شاخساری بر آن می‌رویند.

شاخه‌ها کمابیش به یکدیگر وابسته نیستند و پس از دو بخش نخست می‌توان آنها را به هر ترتیب دلخواهی خواند. آنها به موضوعهایی می‌پردازند که پس از انتشار ***تاریخچه زمان*** رویشان کار کرده‌ام یا درباره آنها اندیشیده‌ام؛ از این‌رو تصویری از برخی از عرصه‌های فعال پژوهش جاری به دست می‌دهند. در هر بخش نیز کوشیده‌ام که از ساختار خطی جداگانه پرهیز نمایم. تصویرها و شرح زیر آنها شاخه مصور دیگری به متن می‌افزایند؛ همانند کتاب ***تاریخچه زمان*** مصور که در سال ۱۹۹۶ به چاپ رسید. پنجره‌ها و جعبه‌های کناری فرصت ژرف‌اندیشی پیرامون برخی موضوعها را بیشتر از آنچه در متن اصلی امکان‌پذیر است، فراهم می‌آورند.

در سال ۱۹۸۸ به هنگام نخستین چاپ ***تاریخچه زمان***، به نظر می‌رسید نظریه فرجامین همه چیز در افق پدیدار شده است. از آن زمان تاکنون چه تغییری رخ داده است؟ آیا به هدف خود هیچ نزدیکتر شده‌ایم؟ همانگونه که در این کتاب توضیح داده خواهد شد، هرچند از آن زمان راهی دراز پیموده شده است، با این همه سفر همچنان ادامه دارد و خط پایانی در دیدرس نیست. بر پایه سخنی کهن، امیدوارانه رهنوردی کردن بهتر از رسیدن است. جستجوی ما برای اکتشاف، بر آفرینندگی، در همه عرصه‌ها و نه فقط در عرصه علم، دامن می‌زند. اگر به پایان خط برسیم، روح آدمی می‌پژمرد و می‌میرد. اما به باور من، هرگز از حرکت باز نخواهیم ایستاد: ما اگر به دانش خود ژرفا نبخشیم، بر

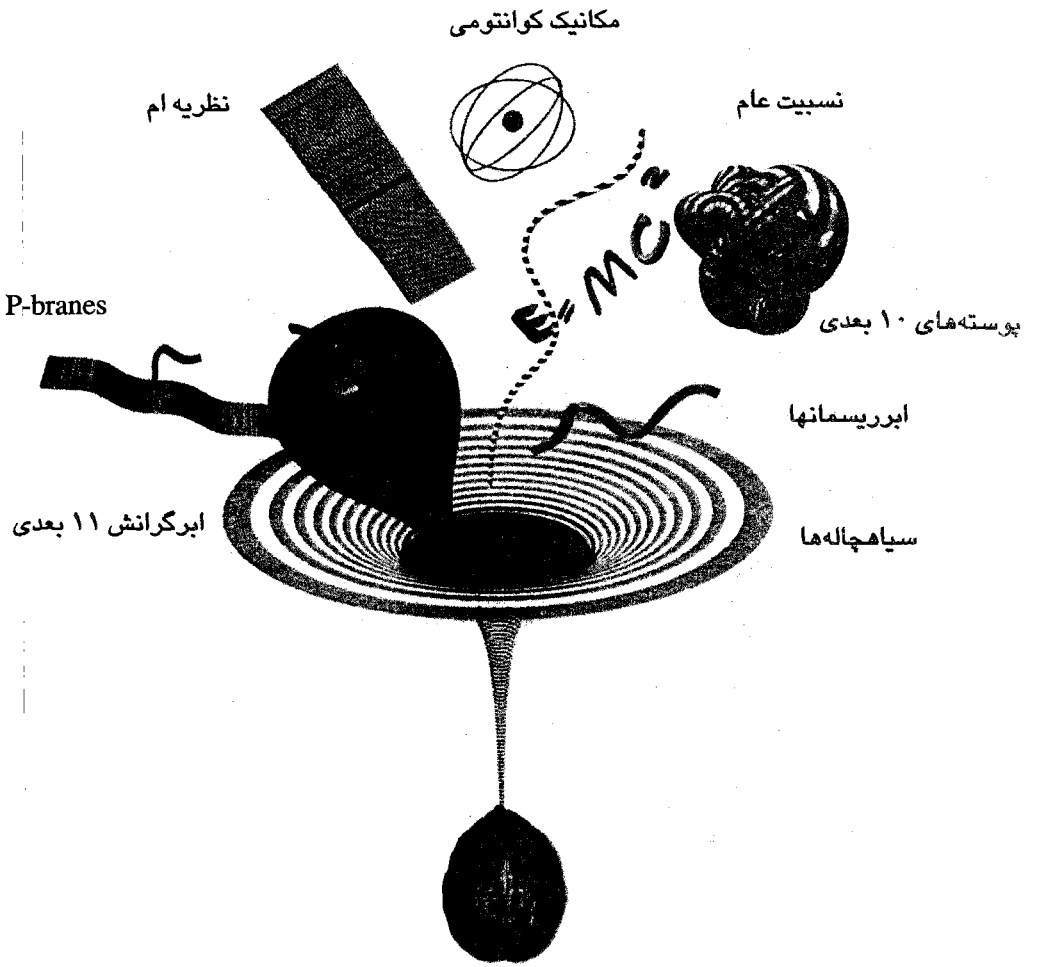
پیچیدگی آن خواهیم افزود و همواره در مرکز افق گسترش یابنده امکانات خواهیم بود.

می‌خواهم هیجان خود را، که ناشی از اکتشافات در دست انجام، و تصویر واقعیتی که در حال پدیدار شدن است، با شما تقسیم کنم. من بر عرصه‌هایی که خود روی آنها کار کرده‌ام متمرکز شده‌ام. جزئیات کار بسیار فنی است، اما باور دارم که اندیشه‌های گسترده را می‌توان بدون استفاده زیاد از ریاضیات انتقال داد. امیدوارم در این راه کامیاب شده باشم.

در نوشتن این کتاب کمکهای بسیاری را دریافت کردم. به‌ویژه دوست دارم از **توماس هرتاگ** (Thomas Hertog) و **نیل شیرر** (Neel Shearer) به خاطر شکلها، شرحها و پنجره‌ها، از **آن هریس** (Ann Harris) و **کیتی فرگوسن** (Kitty Ferguson) که دستنوشته‌ها (یا بهتر بگویم پرونده‌های رایانه‌ای، چرا که همه نوشته‌های من الکترونیکی است) را ویراستاری کردند، و **فیلیپ دان** (Philip Dunn) از «آزمایشگاه کتاب و طراحی مون رانر» به خاطر آفرینش تصویرها تشکر کنم. اما فراتر از آن از همه کسانی که زندگی نسبتاً عادی، و پیگیری پژوهشهای علمی را برای من امکان‌پذیر ساختند سپاسگزارم. بی‌آنان این کتاب هرگز نمی‌توانست نگاشته شود.

استیون هاوکینگ

کمبریج، دوم ماه مه ۲۰۰۱

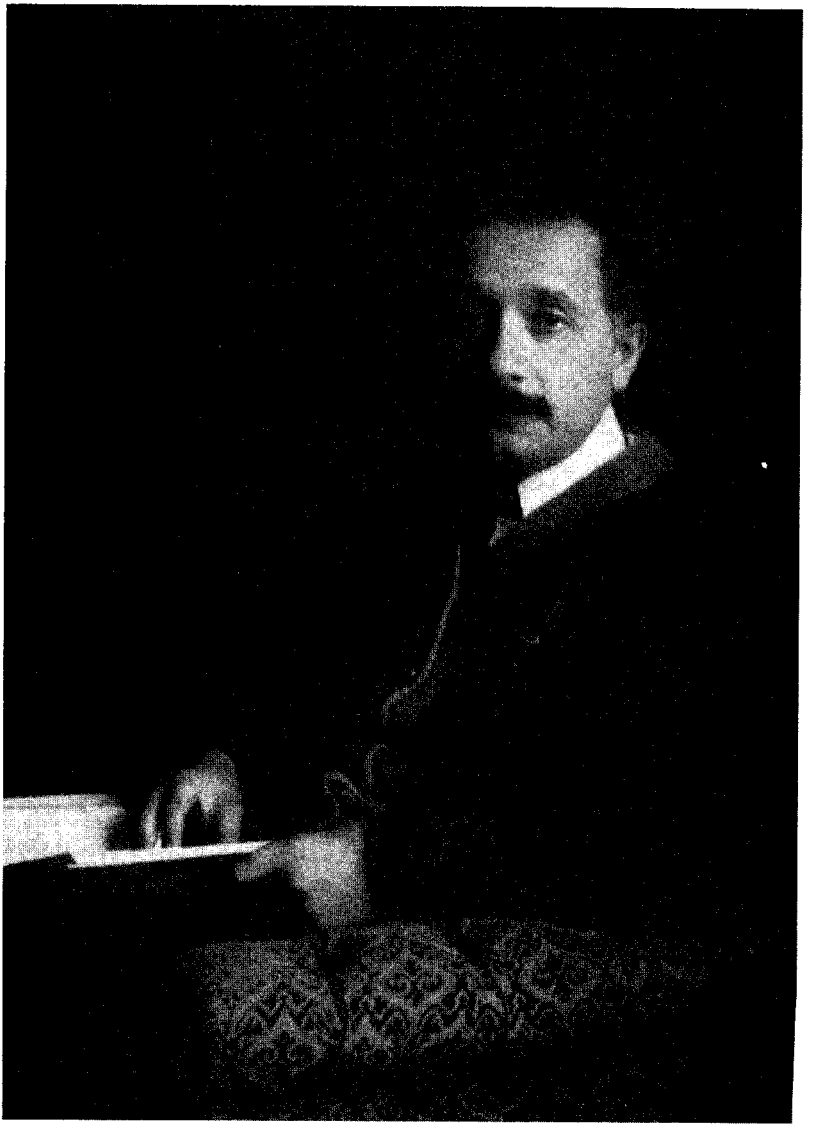

مکانیک کوانتومی
نظریه ام
نسبیت عام
$E=mc^2$
P-branes
پوسته‌های ۱۰ بعدی
ابرریسمانها
ابرگرانش ۱۱ بعدی
سیاهچاله‌ها

بخش یکم

تاریخچه نسبیت

چگونه آینشتین دو نظریه اساسی سده بیستم را بنیان نهاد:
نسبیت عام و نظریه کوانتوم

آلبرت آینشتین (Albert Einstein)، بنیانگذار نظریه‌های نسبیت خاص و عام در سال ۱۸۷۹ در شهر اولم آلمان زاده شد، اما در سال بعد خانواده وی به **مونیخ** نقل‌مکان کرد و در آنجا پدرش **هرمان** و عمویش **ژاکوب** تجارت کوچک و نه‌چندان موفق کالاهای برقی را برپا کردند. آلبرت کودکیِ نبوغ‌آسایی نداشت اما اینکه او آموزش دبستان را به سختی فراگرفت، ادعایی گزافه به نظر می‌رسد. در سال ۱۸۹۴ پدرش ورشکست شد و همه خانواده به میلان رفتند. پدر و مادر آلبرت بر آن بودند که او باید در مونیخ بماند تا درسش تمام شود، اما او رفتار اقتدارگرایانه را نمی‌پسندید و در مدت چند ماه مونیخ را برای پیوستن به خانواده در ایتالیا ترک کرد. وی سپس تحصیلات خود را در زوریخ به پایان رساند و در سال ۱۹۰۰ از مدرسه پرآوازه پلی‌تکنیک فدرال به‌نام **ETH** فارغ‌التحصیل شد. سرشت استدلال‌طلب وی و ناخشنودی او از اقتدارگرایی به یافتن جایگاه و منزلتی نزد استادان **ETH** نینجامید و هیچیک از آنان، مطابق روال عادی یک زندگی آکادمیک، پیشنهاد دستیاری دانشگاه به آینشتین نکرد. دو سال بعد سرانجام توانست کار

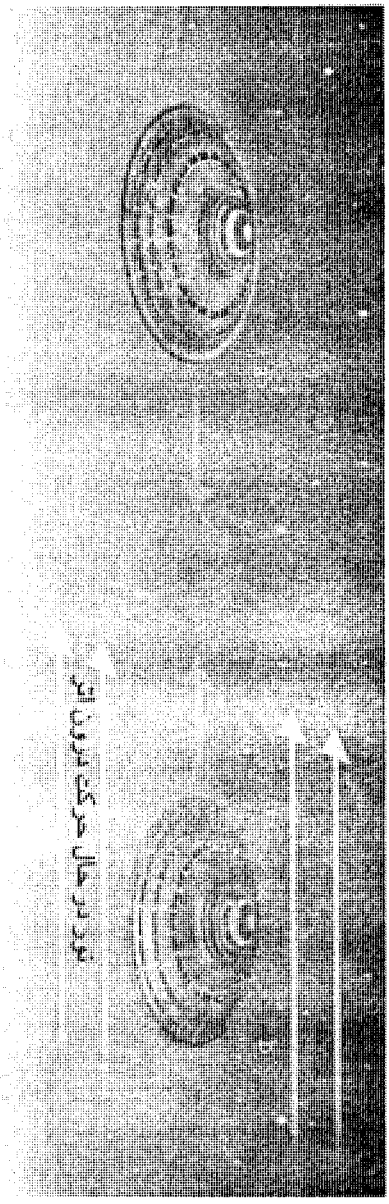


آلبرت آینشتین

فروپایه‌ای در اداره ثبت اختراعات سوئیس در برن به‌دست آورد. در سال ۱۹۰۵ و در همان حال که کارمند آن اداره بود، سه مقاله نوشت که هم او را به جایگاه یکی از دانشمندان پیشرو جهان رساند، و هم دو انقلاب مفهومی را آغاز کرد، انقلابهایی که درک ما از زمان، فضا و خود واقعیت را دستخوش تغییر نمود.

در سالهای پایانی سده نوزدهم، دانشمندان بر آن باور بودند که به زودی توصیف کاملی از جهان به دست خواهند داد. آنان می‌پنداشتند که فضا از ماده پیوسته‌ای به‌نام «اتر» آکنده است. پرتوهای نور و سیگنالهای رادیویی امواجی بودند در این اتر، همچنان که صدا امواج فشار در هواست. برای دستیابی به یک نظریه کامل تنها نیاز بود که اندازه‌گیریهای دقیقی از خواص کشسانی و الاستیک اتر انجام پذیرد. درواقع آزمایشگاه جفرسون در دانشگاه هاروارد برای چنین اندازه‌گیریهایی ساخته شد و در آن هیچ میخ آهنی به‌کار نرفت تا در اندازه‌گیریهای مغناطیسی حساس، اختلالی پیش نیاید. با این همه طراحان فراموش کرده بودند که در آجرهای قهوه‌ای سرخگونی که آزمایشگاه و بیشتر دانشگاه با آن ساخته شده بود، مقادیر زیادی آهن وجود داشت. با اینکه ساختمانها همچنان مورد استفاده قرار دارند، هاروارد هنوز مطمئن نیست که کف یک آزمایشگاه بدون میخ آهنی چه مقدار وزن و سنگینی را تاب می‌آورد.

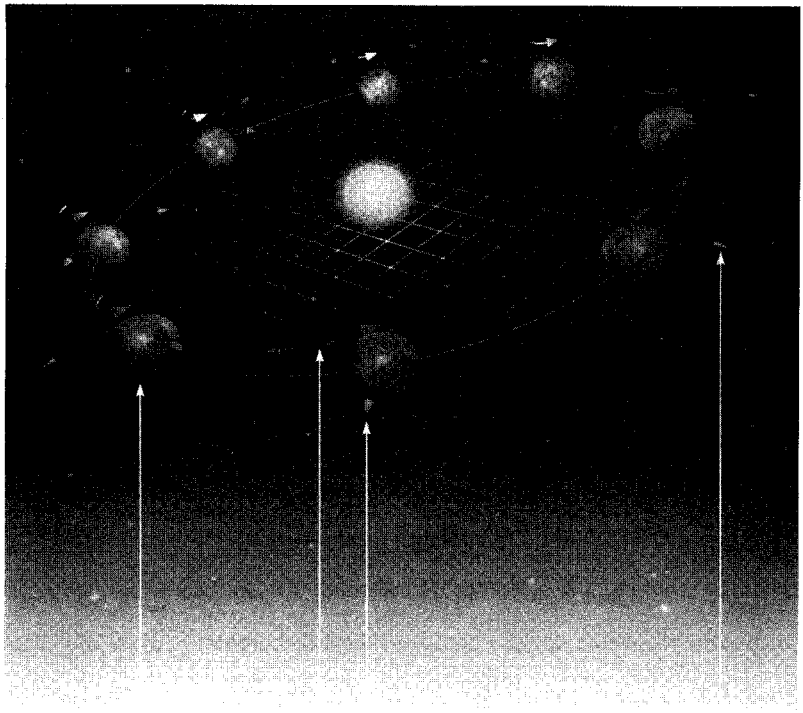
در پایان سده، تناقضات موجود در اندیشه اتر که همه فضا را آکنده است، نمایان شد. سرعت نور در اتر را ثابت می‌دانستند اما می‌پنداشتند که اگر درون اتر همسو با نور حرکت کنید، سرعت نور کمتر و اگر در جهت مخالف نور حرکت کنید، سرعت آن بیشتر به نظر می‌رسد. (شکل ۱ ــ ۱)



با این همه رشته آزمایشهایی از تأیید این اندیشه سرباز زد. دقیقترین و صحیحترین این آزمایشها در سال ۱۸۸۷ در مدرسه علوم کاربردی کیس در کلیولند اوهایو توسط **آلبرت مایکلسن** (Albert Michelson) و **ادوارد مورلی** (Edward Morley) انجام شد. آنها سرعت دو پرتو عمود بر هم نور را با هم مقایسه کردند. از آنجا که زمین پیرامون محور خود می‌چرخد و به دور خورشید می‌گردد، دستگاه از میان اتر با سرعت و جهت متغیر حرکت می‌کند. (شکل ۱ ـ ۲). اما مایکلسن و مورلی روزانه یا سالانه هیچگونه تفاوتی بین دو پرتو نور مشاهده نکردند؛ گویی نور همواره صرفنظر از سرعت و جهت حرکت ناظر، با سرعت ثابتی نسبت به مکان وی حرکت می‌کند (شکل ۱ ـ ۳).

بر پایه آزمایش **مایکلسون ـ مورلی** (Michelson-Morley) فیزیکدان ایرلندی، **جرج فیتز جرالد** (George Fitz Gerald) ، و فیزیکدان هلندی، **هندریک لورنتس** (Hendrik Lorentz) ، پیشنهاد کردند که اجسام متحرک در اتر دچار انقباض و ساعتها کند می‌شوند. این انقباض اجسام و کند شدن ساعتها چنان خواهد بود که مردمان همگی صرفنظر از چگونگی حرکت خود نسبت به اتر، سرعت یکسانی برای نور اندازه خواهند گرفت (فیتز جرالد و لورنتس هنوز اتر را ماده‌ای واقعی می‌پنداشتند). با این همه آینشتین در ژوئن ۱۹۰۵ طی نوشتاری خاطرنشان ساخت که اگر کسی نمی‌تواند آشکار سازد چیزی درون فضا در حال حرکت است یا نه، مفهوم اتر، مفهومی زاید است.

به جای آن، او از این اصل موضوع آغاز کرد که قوانین علم برای همه ناظرانی که به‌طور آزاد در حرکت‌اند باید یکسان باشد. به‌ویژه آنان باید صرفنظر از اینکه سرعت حرکتشان چقدر است، سرعت نور را یکسان



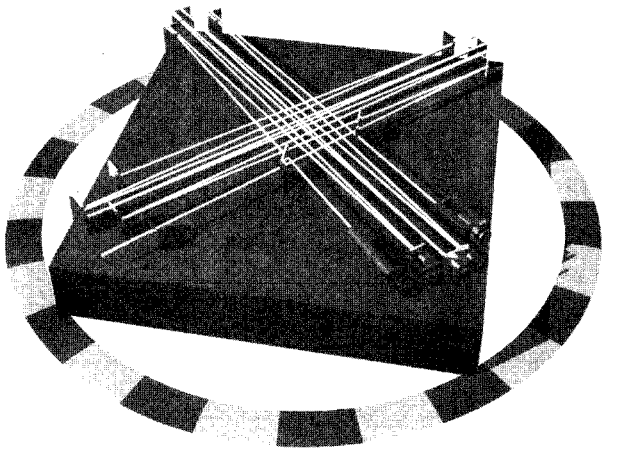
پرتوهای نور که عمود بر یکدیگرند و گردش زمین را دنبال‌میکنند نیز تفاوتی درسرعت نشان‌نمیدهند.

نور در جهت عمود بر مدار زمین به گرد خورشید.

گردش زمین از باختر به خاور

(شکل ۱ ــ ۲)

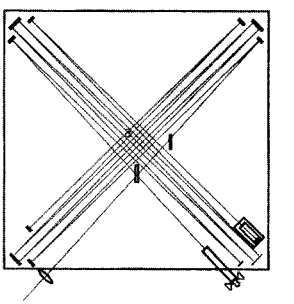
هیچ تفاوتی در سرعت نور در راستای مدار زمین و در جهت عمود بر مدار زمین مشاهده نشد.



(شکل ۱ ــ ۳)

اندازه‌گیری سرعت نور

در تداخل‌سنج مایکسن ــ مورلی، نور از یک منبع گسیل و توسط یک آیینه نیمه جیوه‌اندود به دو پرتو تقسیم می‌شود. دو پرتو نور در جهتهای عمود بر یکدیگر سیر می‌کنند و سپس با برخورد به یک آیینه نیمه جیوه اندود، دوباره یک پرتو می‌شوند. تفاوت در سرعت نور در دو جهت می‌تواند به معنای آن باشد که قله‌های نور در یک پرتو همزمان با دره‌های پرتوی دیگر بر هم سوار می‌شوند و یکدیگر را خنثی می‌کنند.



راست: نمودار آزمون بازسازی شده از آنچه در مجله *ساینتیفیک آمریکن* در سال ۱۸۸۷ منتشر شد.

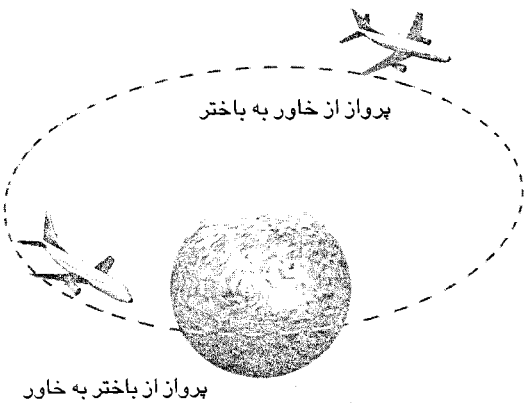
اندازه‌گیری کنند. سرعت نور از حرکت آنان مستقل است و در همه جهات یکسان می‌باشد.

این مستلزم آن بود که پندار کمیتی جهانی به‌نام زمان که همه ساعتها آن را می‌سنجند، کنار گذاشته شود. به جای آن، هر کس زمان شخصی خود را دارد. زمانهای دو نفر در صورتی یکسان است که آن دو نسبت به یکدیگر بی‌حرکت باشند و چنانچه نسبت به هم در حرکت باشند، یکسان نیست.

این واقعیت با چند تجربه تأیید شده است. از آن میان، دو ساعت دقیق را در دو جهت متضاد با هواپیما به دور دنیا گرداندند و در بازگشت اختلاف زمانی بسیار جزئی میان آن دو مشاهده گردید (شکل ۱ ـ ۴). شاید کسی به فکر بیفتد که برای زندگی درازتر پیوسته به سوی خاور در حال پرواز باشد تا سرعت هواپیما با سرعت گردش زمین جمع شود، اما با این روش تنها جزئی از ثانیه می‌توان بر عمر خود افزود که نسبت به زمان تلف شده برای صرف غذاهای شرکت هواپیمایی هیچ است.

اصل موضوع آینشتین مبنی بر آنکه قوانین علم برای همهٔ ناظرانی که به‌طور آزاد در حرکت‌اند یکسان است، بنیان نظریه نسبیت بود. اصطلاح نسبیت متضمن آن بود که تنها حرکت نسبی دارای اهمیت است. زیبایی و سادگی آن اندیشمندان بسیاری را متقاعد ساخت، اما مخالفتهای زیادی همچنان برجای ماند. آینشتین دو مطلق علم سده نوزدهم را سرنگون ساخته بود: ایستایی مطلق، که در اثر جلوه می‌یافت، و زمان مطلق یا جهانی که همه ساعتها آن را اندازه می‌گرفتند. بسیاری از

مردمان نسبیت را مفهومی بی‌سامان یافتند. آنان می‌پرسیدند آیا نسبیت متضمن نسبی بودن **همه چیز** است، آیا هیچ استاندارد اخلاقی مطلقی وجود ندارد؟ این ناآرامی در طول سالهای ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ ادامه یافت. در سال ۱۹۲۱ آینشتین جایزه نوبل را به خاطر کشف مهم ولی (با معیار وی) نسبتاً کوچکترش که در سال ۱۹۰۵ صورت پذیرفته بود، دریافت کرد ولی هیچ سخنی از نسبیت که بسیار مناقشه‌برانگیز می‌نمود، به میان نیامد (من هنوز هفته‌ای دو یا سه نامه دریافت می‌کنم که به من می‌گویند آینشتین اشتباه می‌کرد). با این همه نظریه نسبیت اینک دربست توسط جامعه علمی پذیرفته شده است و پیش‌بینیهای آن در موارد بی‌شماری تأیید گردیده‌اند.



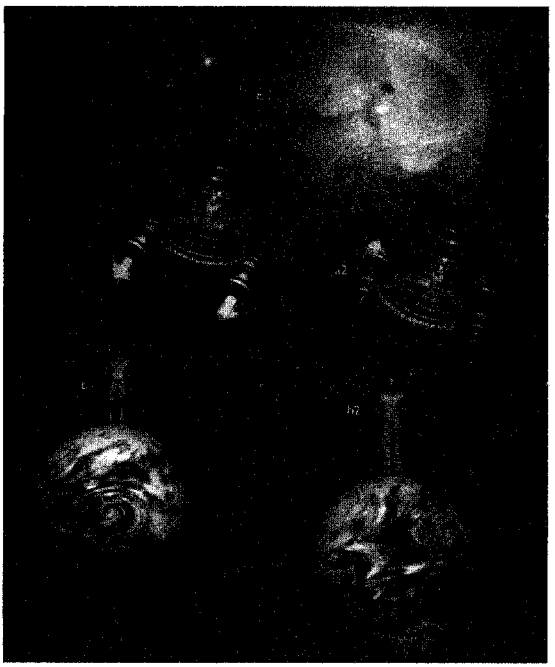
ساعتی که در هواپیمای در حال پرواز به‌سوی باختر است، زمان بیشتری را نسبت به هواپیمای دیگر درجهت مخالف، ثبت میکند.

زمانی که بر سرنشینان هواپیمایی که به‌سوی خاور در پرواز است، سپری میشود، کمتر از زمانی است که بر سرنشینان هواپیمایی که به‌سوی باختر پرواز میکند، میگذرد.

(شکل ۱ ــ ۴)

نگارشی از پارادوکس دوقلوها (شکل ۵ ــ ۱) با پرواز دو ساعت دقیق در جهتهای مخالف به گرد کره زمین، به بوته آزمایش گذاشته شد.

هنگامی که دوباره به یکدیگر رسیدند، ساعتی که به‌سوی خاور در پرواز بود، زمان اندکی کمتر را ثبت کرده بود.



(شکل ۱ ــ ۵)

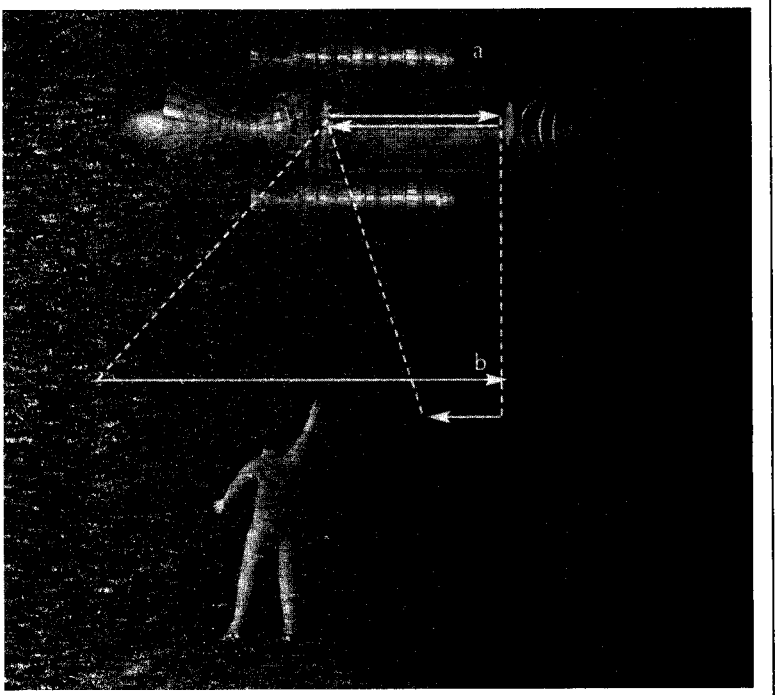
پارادوکس دوقلوها

در نظریه نسبیت هر ناظر، اندازه‌گیری خود را از زمان داراست. این امر می‌تواند منجر به پارادوکس دوقلوها شود.

یکی از دوقلوها (a) سوار بر سفینه‌ای با سرعتی نزدیک به سرعت نور زمین را ترک می‌کند (c). دوقلوی دیگر (b) بر زمین می‌ماند.

به دلیل حرکت (a) زمان در فضاپیما به نظر دوقلوی روی زمین کندتر می‌گذرد. از این‌رو در بازگشت مسافر فضایی (a2) درخواهد یافت برادرش (b2) از او پیرتر شده است.

اگرچه این امر برخلاف عقل سلیم به نظر می‌رسد اما شماری از آزمایشها متضمن آن بوده‌اند که در این سناریو، دوقلوی فضاپیما، به‌راستی جوانتر است.



(شکل ۱ ــ ۶)

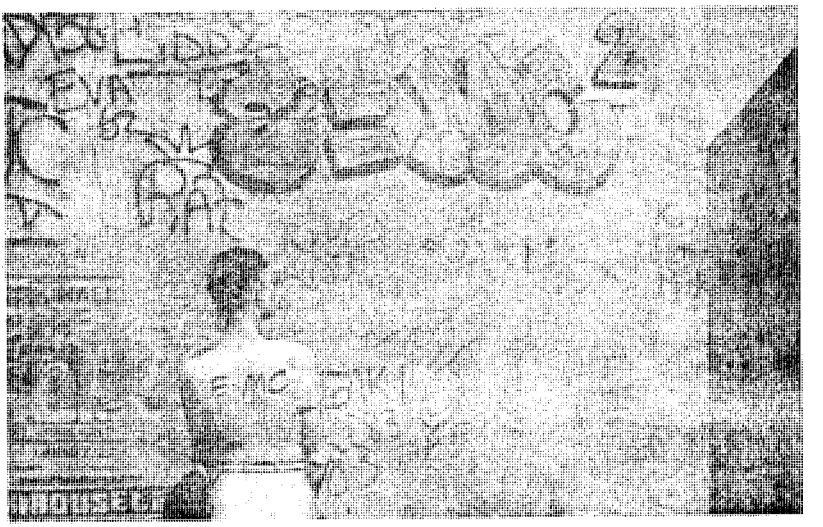
فضاپیمایی از برابر زمین از چپ به راست و با سرعتی معادل چهار پنجم سرعت نور می‌گذرد. یک تپش نور از یک سرکابین گسیل شده و در سر دیگر باز تابانده می‌شود (a).

نور توسط ناظرینی روی زمین و در فضاپیما مشاهده می‌شود. به دلیل حرکت فضاپیما، آنان بر سر مسافتی که نور در بازتاب پیموده، دچار اختلاف می‌شوند (b). از این‌رو آنان باید بر سر زمانی که بر نور گذشته نیز دچار اختلاف شوند، چراکه برابر با اصل موضوع آینشتین، سرعت نور برای همه ناظرین متحرک آزاد یکسان است.

یک نتیجه بسیار مهم نسبیت رابطه میان جرم و انرژی است. اصل موضوع آینشتین که سرعت نور باید برای همه یکسان باشد متضمن آن بود که هیچ چیز تندتر از نور نمی‌تواند حرکت کند. درواقع هنگامی که برای شتاب بخشیدن به هر چیزی، خواه یک ذره و خواه یک فضاپیما، انرژی به کار می‌بریم، جرم آن افزایش می‌یابد و در نتیجه شتاب دادن بیشتر به آن دشوارتر می‌گردد. شتاب بخشیدن به یک ذره چندان که سرعت آن به سرعت نور برسد امکان‌پذیر نیست، چراکه باید بی‌نهایت انرژی مصرف شود. جرم و انرژی به روایت معادله مشهور $E = mc^2$ هم‌ارزند (شکل ۱ ــ ۷) این شاید تنها معادله فیزیک است که در خیابانها شناخته می‌شود. در میان پیامدهای آن می‌توان به فهم این حقیقت اشاره کرد که اگر هسته یک اتم اورانیوم به دو هسته با جرم مجموع اندکی کمتر، شکافته شود، مقدار انرژی عظیمی آزاد خواهد شد (شکل ۱ ــ ۸ را ببینید.)

در سال ۱۹۳۹ با نزدیک شدن شبح یک جنگ جهانی دیگر، گروهی از دانشمندان که این پیامدها را درک می‌کردند، آینشتین را متقاعد ساختند که از وسواس صلح‌طلبانه خود دست بردارد و با استفاده از نفوذ خود طی نامه‌ای به پرزیدنت **روزولت**، ایالات متحده را به آغاز برنامه پژوهش هسته‌ای وادار نماید.

این کار به پروژه منهتن و عاقبت به بمبهایی که در سال ۱۹۴۵ بر هیروشیما و ناکازاکی فرو افتاد، انجامید. برخی مردمان آینشتین را به خاطر بمب اتمی سرزنش می‌کنند چراکه او، رابطه میان جرم



(شکل ۱ ــ ۷)

و انرژی را کشف نمود، اما این همانند آن است که **نیوتن** (Newton) را به خاطر کشف گرانش، مسئول سقوط هواپیماها بدانیم. آینشتین خود هرگز در پروژه منهتن شرکت نجست و از به‌کار بردن بمب بسیار بیمناک بود.

پس از مقاله‌های خط‌شکنانه‌اش در سال ۱۹۰۵ ، آوازه علمی آینشتین به سر زبانها افتاد. اما تنها در سال ۱۹۰۹ بود که در دانشگاه زوریخ شغلی به او پیشنهاد شد و او توانست اداره ثبت اختراعات سوئیس را ترک کند. پس از دو سال به دانشگاه آلمانی پراگ رفت و در سال ۱۹۱۲ به زوریخ بازگشت، و این‌بار در مدرسه فدرال پلی‌تکنیک

نوترون دربند

پروتون

نوترون آزاد

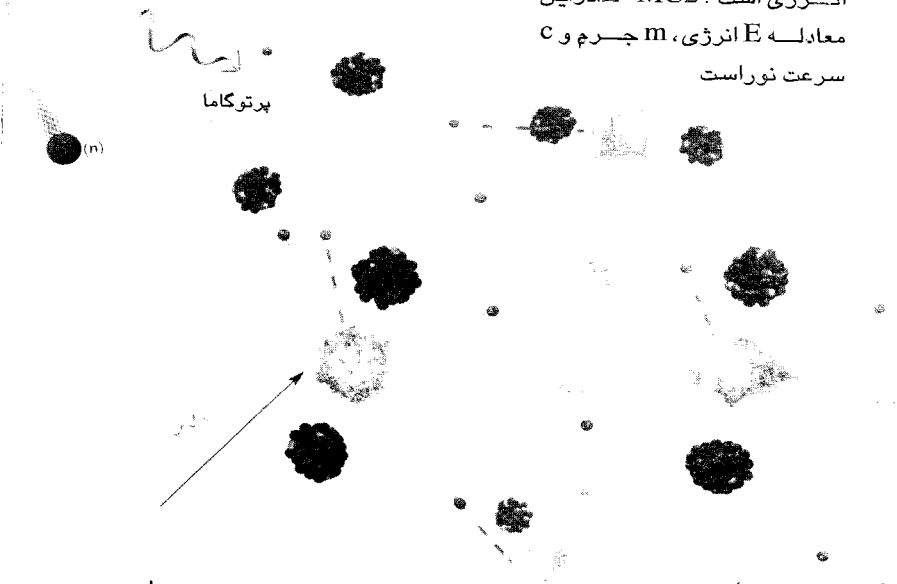
معادله آینشتین میگوید مقدار کمی جرم، هم‌ارز مقدار بسیار بزرگی انرژی است : $E=MC^2$.دراین معادله E انرژی، m جرم و c سرعت نوراست

(Kr ــ ۸۹) هسته آمیخته نوسان میکند و ناپایدار است.

شکافت به‌طور میانگین ۲/۴ نوترون و ۲۱۵ MeV انرژی به‌دست میدهد.

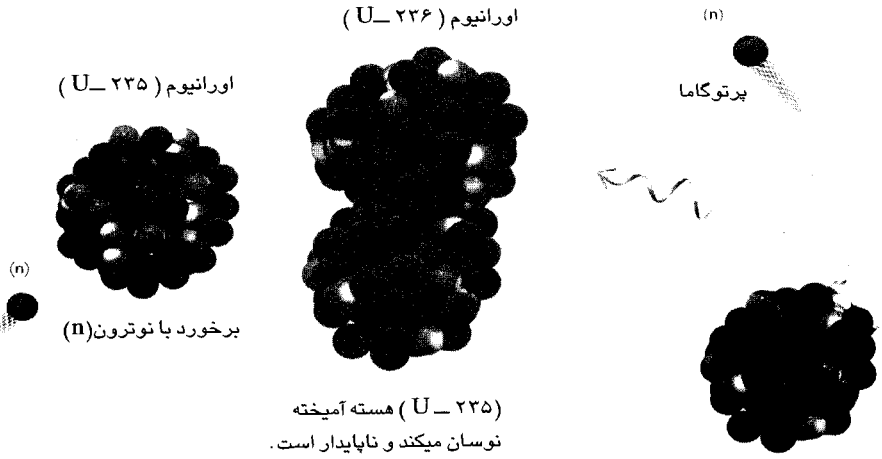
(n)نوترون‌ها میتوانند واکنش زنجیره‌ای برپا سازند.

پرتوگاما



واکنش زنجیره‌ای

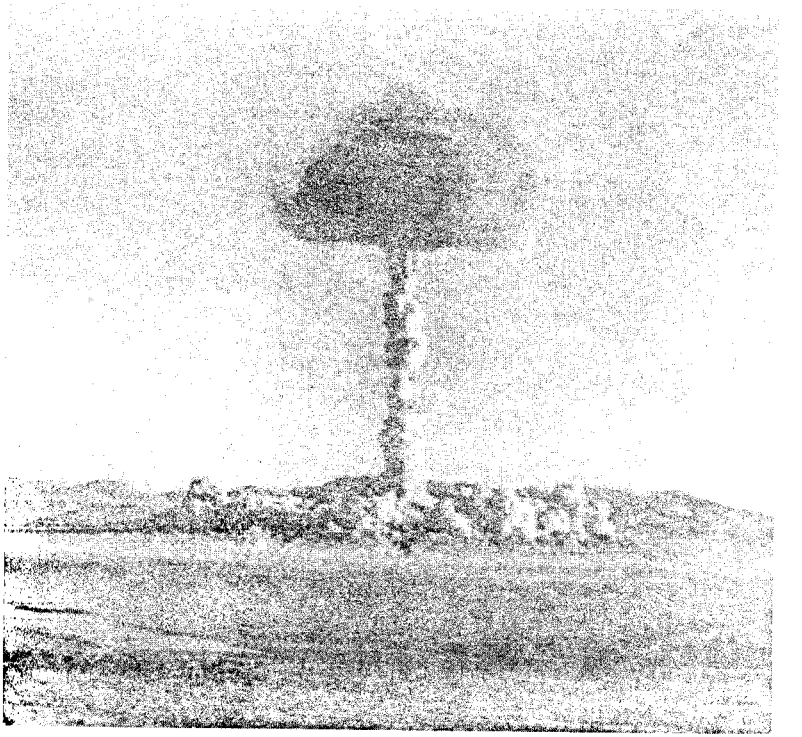
یک نوترون از شکافت U-235 اصلی به هسته دیگر برخورد می‌کند. این یک، به نوبه خود دچار شکافت می‌شود و یک واکنش زنجیره از برخوردهای بیشتر آغاز می‌گردد. اگر واکنش ادامه یابد، «بحرانی» خوانده می‌شود و جرم U-235 ، «جرم بحرانی» نام می‌گیرد.



(شکل ۱ ــ ۸)

انرژی پیوند هسته‌ای

هسته‌ها از پروتون‌ها و نوترون‌ها که به‌وسیله نیروی قوی کنار یکدیگر نگه داشته شده‌اند، ساخته شده‌اند. اما جرم هسته همواره از جمع جرمهای پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل‌دهنده آن کمتر است. تفاوت در انرژی نگهدارنده‌ای که هسته را کنار یکدیگر نگه می‌دارد نهفته است. این انرژی نگهدارنده را می‌توان با فرمول آینشتین محاسبه کرد: انرژی پیوند هسته‌ای = Δmc^2 که در آن Δm تفاوت میان جرم هسته و جمع جرمهای جداگانه است. رهاسازی این انرژی بالقوه، نیروی انفجاری ویرانگر یک ابزار هسته‌ای را به‌وجود می‌آورد.



نامهٔ آینشتین به پرزندنت روزولت در سال ۱۹۳۹

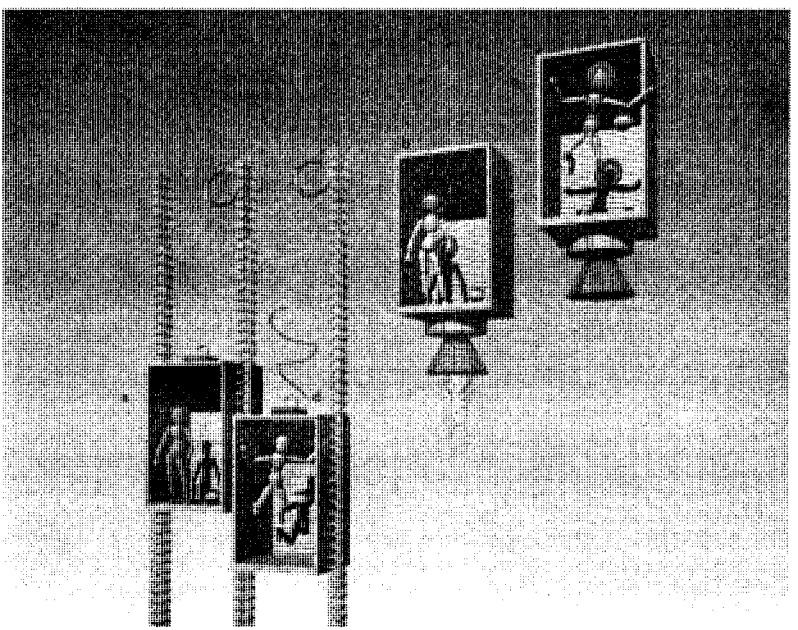
«در طول چهار ماه گذشته بر اثر کار ژولیوت در فرانسه و فرمی و زیلارد در آمریکا، محتمل است بتوان یک واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای در یک جرم بزرگ اورانیوم برپا ساخت و به‌وسیله آن توان گسترده و مقادیر زیادی عناصر شبه رادیوم نوین تولید کرد. اکنون تقریباً مطمئن هستیم که در آینده‌ای نزدیک، این به‌دست خواهد آمد. همچنین، این پدیده نوین به ساختن بمبهایی خواهد انجامید، و قابل تصور است ــ اگرچه با اطمینان بسیار کمتر ــ که بمبهایی بسیار توانمند از نوع نوین ساخته شوند.»

ETH به کار مشغول شد. به رغم اندیشه‌های یهودستیزی که در بسیاری از نقاط اروپا و حتی در دانشگاهها رواج داشت، او اینک یک ثروت آکادمیک باارزش به‌شمار می‌رفت. پیشنهادهایی از وین و اوترخت دریافت داشت. اما وی یک شغل پژوهشی در آکادمی علوم پروس در برلین را پذیرفت، چرا که از وظیفه تدریس رهایی می‌یافت. در سال ۱۹۱۴ به برلین رفت و به زودی همسر و دو پسرش به او پیوستند، اما زندگی مشترکشان چندان رونقی نداشت و خانواده‌اش به زودی به زوریخ بازگشتند و با آنکه او هر از چندگاه سری به خانواده‌اش می‌زد، سرانجام از یکدیگر جدا شدند. آینشتین پس از چندی با دخترخاله خود **اِلسا** که در برلین می‌زیست ازدواج کرد. این واقعیت که او سالهای جنگ را مجرد و فارغ از تعهدات خانوادگی به‌سر برد می‌تواند یکی از دلایل پربار بودن این دوره از زندگی علمیش باشد.

هرچند نظریه نسبیت با قوانین حاکم بر الکتریسیته و مغناطیس همخوانی داشت، اما با قانون گرانش نیوتن همساز نبود. این قانون بر آن بود که اگر توزیع ماده در ناحیه‌ای از فضا تغییر کند، بی‌درنگ در هر نقطه دیگر جهان، تغییر در میدان گرانشی احساس خواهد شد. این نه‌تنها به معنای امکان فرستادن سیگنال‌هایی تندتر از نور است (که نسبیت آن را ناشدنی می‌دانست)، بلکه برای تعریف مفهوم بی‌درنگ، می‌بایست، همچنین وجود زمان جهانی را، که نسبیت به نفع زمان شخصی فرو نهاده بود، پذیرفت.

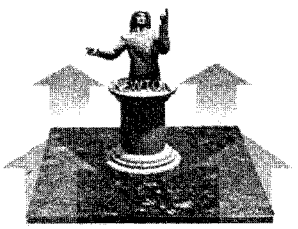
آینشتین در سال ۱۹۰۷، زمانی که هنوز در اداره ثبت اختراعات در برن بود از این دشواری آگاهی داشت، اما تنها در سال ۱۹۱۱ که در پراگ می‌زیست به‌طور جدی در این باره اندیشید. او دریافت که رابطه‌ای تنگاتنگ میان شتاب و میدان گرانشی وجود دارد. کسی در جعبه بسته‌ای

همچون بالابر، نمی‌تواند بگوید که جعبه در میدان گرانشی زمین ساکن است یا در فضای آزاد توسط یک موشک شتاب می‌گیرد (البته هنوز عصر پیشتازان فضا فرا نرسیده بود و آینشتین مردمان را درون بالابرها و نه فضاپیماها تصور می‌کرد). اما کسی نمی‌تواند مدت زیادی در یک بالابر شتاب بگیرد یا آزادانه سقوط کند و جان سالم به در ببرد (شکل ۱ ــ ۹).



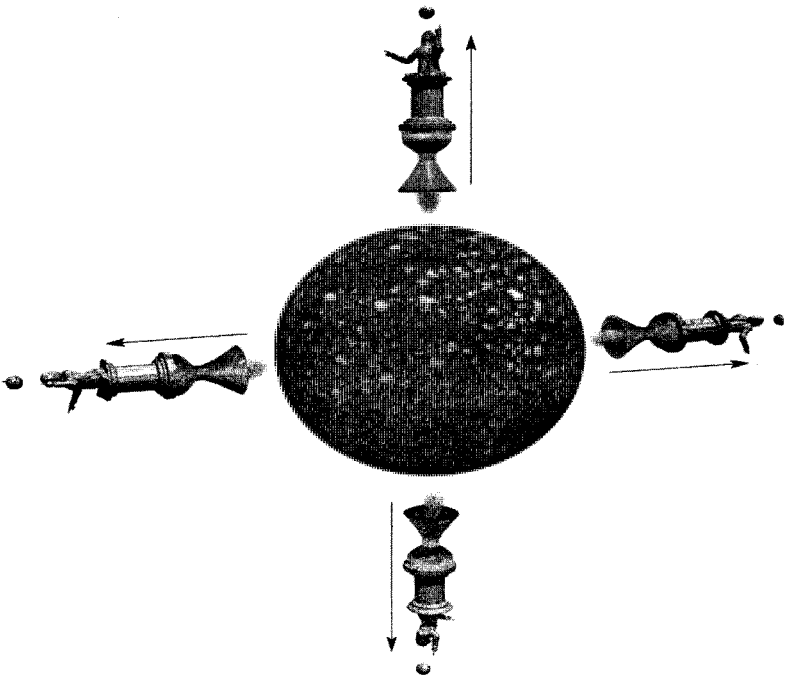
(شکل ۱ ــ ۹)
ناظری در یک اتاقک نمی‌تواند فرق میان بودن در یک بالابر ساکن روی زمین (a) و سوار بودن در یک موشک شتابنده در فضای آزاد (b) را حس کند یا تشخیص دهد. اگر موتور موشک خاموش شود (c)، همان احساسی به ناظر دست می‌دهد که اتاقک بالابر در حال سقوط آزاد به‌سوی پایین باشد (d).

اگر زمین تخت و مسطح بود، می‌شد گفت که سیب به خاطر گرانش روی سر نیوتن افتاد و یا به همان درستی می‌توان گفت نیوتن و سطح زمین به طرف بالا شتاب گرفته بودند (شکل ۱ ـ ۱۰). با این همه به نظر



می‌رسید این هم‌ارزی میان شتاب و گرانش در مورد یک زمین گرد کارا نیست ـ مردمان در طرفهای مقابل کره زمین باید در جهتهای متضاد شتاب بگیرند اما در فاصله یکسان و ثابتی از یکدیگر باید قرار داشته باشند (شکل ۱ ـ ۱۱).

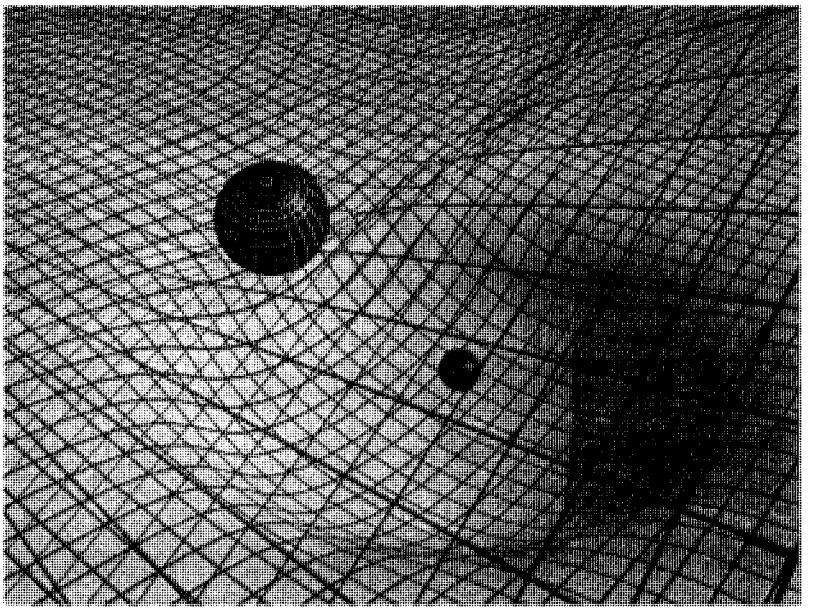
اما آینشتین در سال ۱۹۱۲ در بازگشت به زوریخ دریافت که اگر هندسه فضازمان خمیده، و نه آنچنان که تا آن زمان می‌پنداشتند تخت، باشد هم‌ارزی مؤثر واقع خواهد گردید. اندیشه او آن بود که جرم و انرژی، فضازمان را به گونه‌ای که می‌بایست تعیین گردد، پیچ و تاب می‌دهد. چیزهایی مانند سیبها و سیاره‌ها می‌کوشند تا از میان فضازمان در طول خطوط راست حرکت کنند، اما به نظر می‌رسد مسیرشان توسط



(شکل ۱ ــ ۱۱)

اگر زمین تخت بود (شکل ۱ ــ ۱۰) می‌شد گفت که سیب به سبب گرانش روی سر نیوتن افتاد و یا زمین و نیوتن به‌سوی بالا شتاب گرفتند. این هم ارزی روی زمین گرد و کروی کاربرد ندارد (شکل ۱ ــ ۱۱) زیرا مردمان دو سوی کره زمین از همدیگر دور خواهند شد. آینشتین با فضا و زمان خمیده بر این دشواری پیروز شد.

یک میدان گرانشی خمیده شده است چرا که فضازمان خمیده است (شکل ۱ ــ ۱۲).



(شکل ۱ ــ ۱۲)
شتاب و گرانش تنها زمانی هم ارز هستند که یک جسم دارای جرم، فضازمان را دچار خمیدگی کند و مسیر چیزهای در همسایگی خود را خمیده سازد.

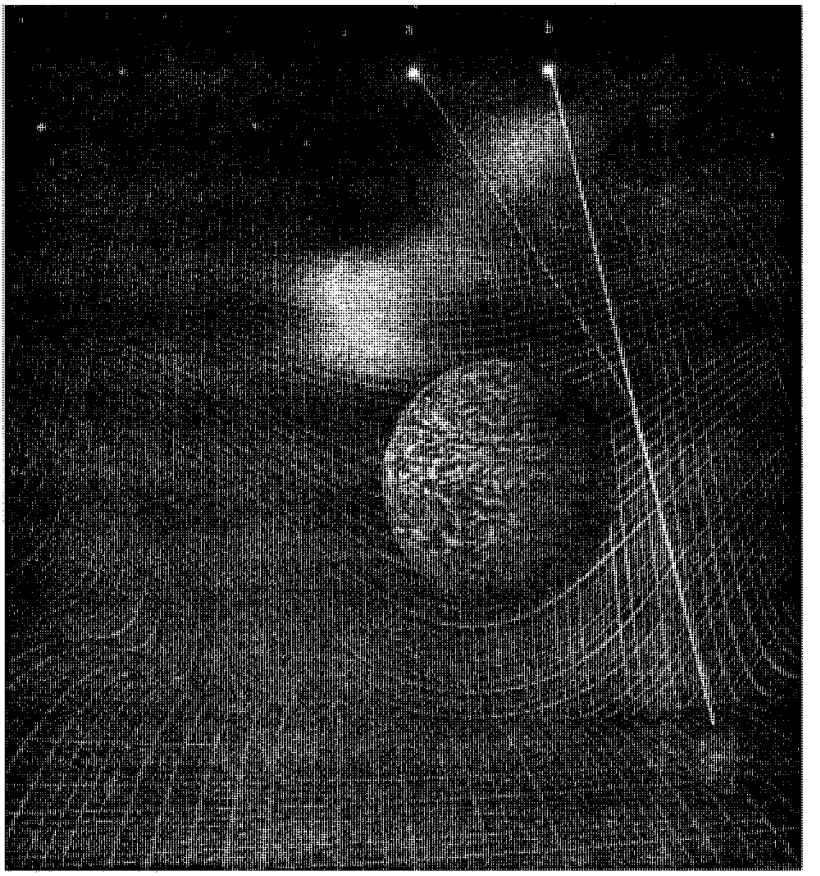
آینشتین به کمک دوستش **مارسل گروسمان** (Marcel Grossmann)، نظریه فضاها و رویه‌های خمیده را که پیشتر توسط **جرج فردریش ریمان** (Georg Friedrich Riemann) گسترش یافته بود، مطالعه کرد. اما ریمان تنها به فضای خمیده می‌اندیشید. زمانی سپری شد تا آینشتین دریابد که این فضازمان است که خمیده است. آینشتین و گروسمان در مقاله مشترکی که در سال ۱۹۱۳ نگاشتند بیان داشتند که آنچه ما نیروهای گرانشی می‌نامیم

صرفاً نمادی از واقعیت فضازمان خمیده است. با این همه به سبب خطای آینشتین (که انسان و جایزالخطا بود) نتوانستند معادلاتی را که خمیدگیهای فضازمان را به جرم و انرژی درون آن پیوند می‌دهند، بیابند. آینشتین کار روی این مسئله را در برلین و فارغ از موضوعات خانوادگی و تا حد زیادی به دور از هیاهوی جنگ، پی گرفت تا سرانجام معادله‌های درست را در نوامبر سال ۱۹۱۵ به دست آورد. او در دیداری از دانشگاه گوتینگن در تابستان ۱۹۱۵ اندیشه‌های خود را با **دیوید هیلبرت** (David Hilbert) ریاضیدان در میان گذاشته بود، و هیلبرت مستقلاً چند روز پیش از آینشتین به همین معادلات رسیده بود. با این همه همچنان که خود هیلبرت اذعان داشت، افتخار نظریه نوین از آن آینشتین بود. این اندیشه آینشتین بود که گرانش را به خمیدگی فضازمان نسبت می‌داد. در اینجا باید از شرایط آلمان متمدن آن زمان ستایش کرد که در آن چنین بحثها و داد و ستدهای علمی، حتی در زمان جنگ، بی‌وقفه دنبال می‌شد. این وضعیت در تقابلی آشکار با دوران حکومت نازی بیست سال بعد بود.

نظریه نوین فضازمان خمیده، نسبیت عام نام گرفت تا از نظریه نخستین که گرانش را در نظر نمی‌گرفت و نسبیت خاص نامیده می‌شد، متمایز شود. این نظریه در سال ۱۹۱۹ به گونه‌ای قابل

توجه مورد تأیید قرار گرفت. در آن هنگام یک هیئت بریتانیایی در آفریقای باختری در جریان رصد یک خورشیدگرفتگی، انحراف جزئی در مسیر نور ستاره‌ای که از نزدیکی خورشید می‌گذشت مشاهده کرد (شکل ۱ ـ ۱۳). این گواهی زنده بر پیچ و تاب فضا و زمان بود و موجب بزرگترین دگرگونی در درک ما از جهانی که در آن بسر می‌بریم گردید؛ بزرگترین دگرگونی از زمانی که **اقلیدس** کتاب ***اصول هندسه*** خود را حدود ۳۰۰ سال پیش از میلاد مسیح نگاشت.

نظریه نسبیت عام آینشتین فضا و زمان را از زمینه‌ای منفصل که در آن رخدادها به وقوع می‌پیوندد، به بازیگران فعال‌ساز و کارهای جهان مبدل ساخت. این امر به مسئله‌ای بزرگ انجامید که در صف نخست فیزیک در سده بیست و یکم برجای ماند. جهان سرشار از ماده است و ماده فضا زمان را آنچنان پیچ و تاب می‌دهد که اجسام بر یکدیگر سقوط می‌کند. آینشتین دریافت که معادلاتش، پاسخ و جوابی ندارد که جهان را ایستا و نامتغیر در زمان توصیف کند. او به جای دست برداشتن از جهانی جاوید که به همراه بسیاری مردمان دیگر به آن باور داشت، معادلاتش را دستکاری کرد و مفهوم ثابت کیهانی را که فضازمان را در جهت متضاد پیچ و تاب می‌داد، به آن افزود تا اجسام از یکدیگر دور شوند. تأثیر رانشی ثابت کیهانی می‌توانست با تأثیر کششی ماده برابر شود و پاسخ و جوابی ایستا برای جهان به دست دهد. این یکی از بزرگترین فرصتهای از دست رفته فیزیک نظری است. چنانچه آینشتین به معادلات اصلی خود وفادار مانده بود می‌توانست پیش‌بینی کند که جهان یا در حال گسترش و یا در حال انقباض است. به این ترتیب تا رصدهای سال ۱۹۲۰ که با تلسکوپ صد اینچی کوه ویلسون انجام شد، امکان وابستگی جهان به زمان، جدی گرفته نشد.

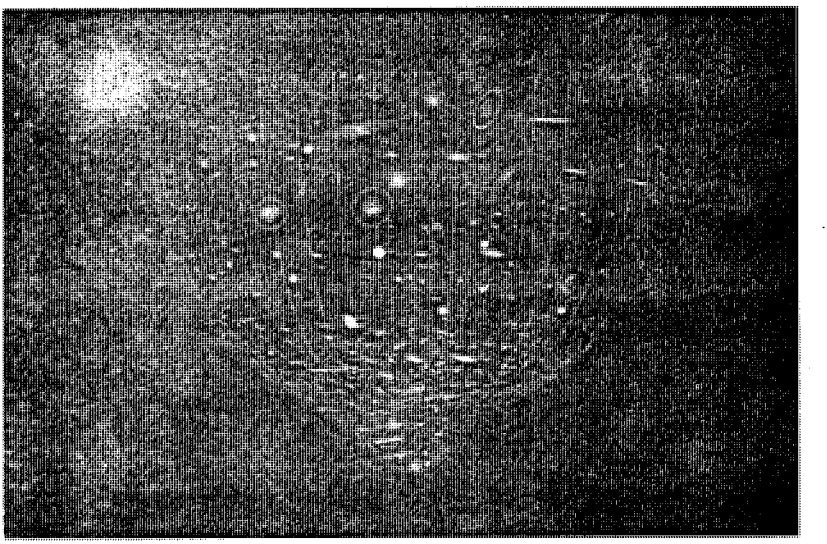


(شکل ۱ ــ ۱۳)

خمیدگی پرتو نور

نوری که از ستاره‌ای گسیل می‌شود و از نزدیکی خورشید می‌گذرد، منحرف می‌شود زیرا جرم خورشید فضازمان را خمیده کرده است (a). این موجب جابه‌جایی اندکی در وضعیت ظاهری ستاره برای ناظر زمینی می‌شود (b). این پدیده را هنگام خورشید گرفتگی می‌توان مشاهده کرد.

این مشاهدات آشکار ساخت که کهکشانها هر چه دورتر از ما باشند، باسرعت بیشتری ازما دورمی‌شوند. جهان در حال گسترش است و فاصله میان دو کهکشان پیوسته با گذشت زمان بیشتر می‌شود (شکل ۱ ــ ۱۴). این کشف نیاز به یک ثابت کیهانی، برای داشتن پاسخ و جوابی ایستا برای جهان، را از میان برداشت. بعدها آینشتین ثابت کیهانی را بزرگترین اشتباه زندگی خود خواند. با این همه اینک به نظر می‌رسد که شاید خطایی درکار نبوده باشد؛ مشاهدات اخیرکه در بخش ۳ آمده، حاکی از آن است که شاید به راستی ثابت کیهانی کوچکی وجود داشته باشد.

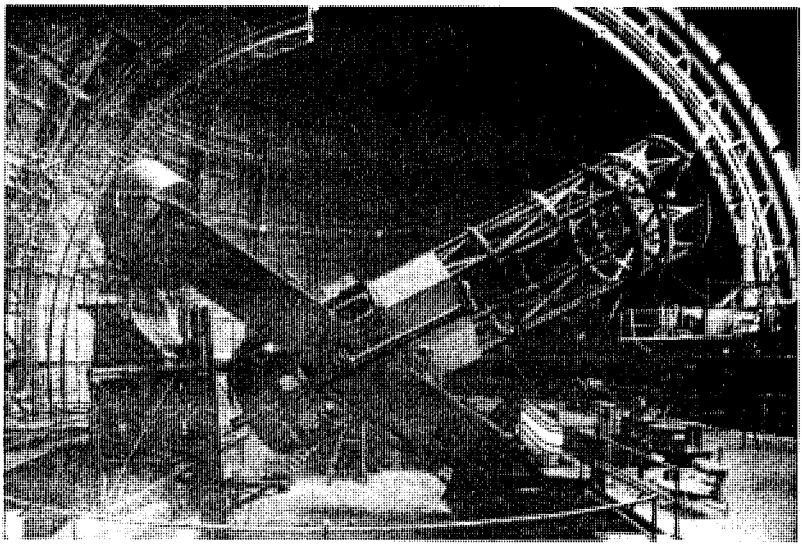


(شکل ۱ ــ ۱۴)

مشاهده کهکشانها نشان می‌دهد که جهان در حال گسترش است. فاصله میان تقریباً هر جفت کهکشان افزایش می‌یابد.

نسبیت عام یکسره گفتمان سرچشمه و سرنوشت جهان را دگرگون ساخت. جهانی ایستا می‌توانست جاویدان باشد و یا درگذشته به شکل کنونیش آفریده شده باشد. با این همه اگر کهکشانها اینک از یکدیگر دور می‌شوند، بدان معناست که باید درگذشته به یکدیگر نزدیکتر بوده باشند. حدود پانزده میلیارد سال پیش، همگی روی یکدیگر سوار بودند و چگالی بسیار زیاد بود. این حالت توسط کشیش کاتولیک **جرج لومتر** (George Lemaitre) «اتم بدوی» نام گرفت. او نخستین کسی بود که درباره سرچشمه جهان، که اینک انفجار بزرگ نام دارد، به کنکاش پرداخت.

به نظر می‌رسد آینشتین هرگز انفجار بزرگ را جدی نگرفت. ظاهراً او می‌پنداشت که مدل ساده جهانی که یکنواخت گسترش می‌یابد، با دنبال کردن حرکت کهکشانها در طول زمان گذشته، درهم می‌شکند، و سرعتهای کوچک جنبی کهکشانها موجب می‌شود تا از کنار یکدیگر بگذرند. او می‌اندیشید که جهان ممکن است یک فاز انقباضی را پشت سرگذاشته باشد و به مرحله گسترش یابنده کنونی با چگالی نسبتاً متعادل جهیده باشد. به هر روی، اینک می‌دانیم که در جهان نخستین، برای آنکه واکنشهای هسته‌ای بتوانند مقدار نوری را که در پیرامون خود مشاهده می‌کنیم به وجود بیاورند، چگالی باید دست کم ده تن بر اینچ مکعب و دما ده میلیارد درجه بوده باشد. افزون بر آن مشاهدات ریز موج زمینه نشان می‌دهد که احتمالاً چگالی باید یک تریلیون تریلیون تریلیون تریلیون تریلیون تریلیون (۱ با ۷۲ صفر پس از آن) تن در هر اینچ مکعب بوده باشد. اکنون ما می‌دانیم که نظریه نسبیت عام آینشتین اجازه



تلسکوپ صد اینچی هوکر در رصدخانه کوه ویلسون

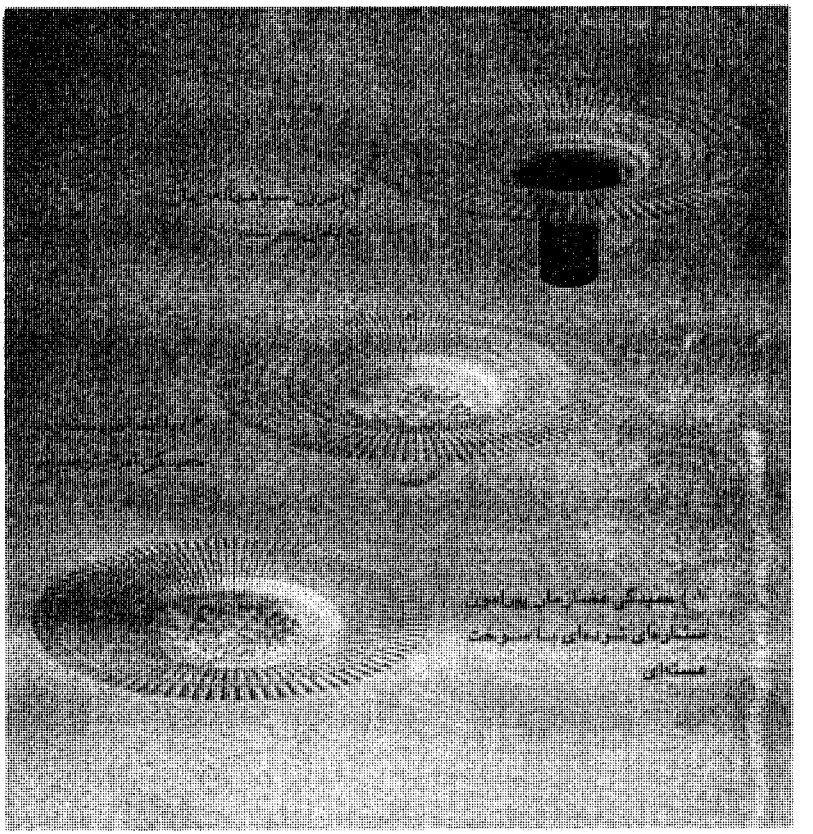
نمی‌دهد جهان از مرحله انقباضی به مرحله کنونی گسترش بجهد. همچنان که در بخش ۲ خواهیم دید، **راجر پنروز** (Roger Penrose) و من توانستیم نشان دهیم که نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که جهان با یک انفجار بزرگ آغاز گردید. از این‌رو نظریه آینشتین متضمن آن است که زمان آغازی دارد، هرچند آینشتین خود هرگز از این اندیشه خشنود نبود.

آینشتین از پذیرش پیش‌بینی پایان زمان برای ستارگان توده‌ای، توسط نسبیت عام، حتی ناخشنودتر بود. پایان زمان یعنی هنگامی که این ستارگان به پایان عمر خود می‌رسند و دیگر گرمای لازم را برای جبران نیروی گرانش خود، که در راستای کوچکتر کردن آنها عمل می‌کند،

ندارند. آینشتین می‌پنداشت که چنین ستارگانی به یک حالت پایانی خواهند رسید، اما اینک می‌دانیم که پیکربندیهای حالت پایانی برای ستارگانی با دو برابر جرم خورشید وجود ندارد. چنین ستارگانی چندان کوچک و کوچکتر خواهند شد تا سیاهچاله شوند، یعنی ناحیه‌ای بسیار خمیده از فضازمان که نور را یارای گریز از آن نیست (شکل ۱ ـ ۱۵).

پنروز و من نشان دادیم که نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که زمان درون یک سیاهچاله به پایان می‌رسد؛ هم برای ستاره و هم برای هر فضانورد نگون‌بختی که درون آن بیفتد. اما آغاز و انجام زمان هر دو نقاطی هستند که در آنها معادلات نسبیت عام را نمی‌توان تعریف نمود. از این‌رو نظریه نمی‌تواند پیش‌بینی کند که از انفجار بزرگ چه چیزی بیرون خواهد آمد. برخی این امر را نشانه‌ای از آزادی خداوند در آغازیدن جهان به هرگونه‌ای که خود می‌خواهد دانسته‌اند، اما برخی دیگر (از آن میان خود من) احساس می‌کردند که آغاز جهان باید زیر همان قوانینی باشد که در دیگر زمانها فرمان می‌رانند. آنچنان که در بخش ۳ خواهیم دید در این راستا پیشرفتهایی کرده‌ایم، اما هنوز درک کاملی از سرچشمه جهان نداریم.

نسبیت عام در انفجار بزرگ از آن‌رو درهم می‌شکست که با نظریه کوانتومی، دیگر انقلاب مفهومی بزرگ آغاز سده بیستم، سازگاری نداشت. نخستین گامها به سوی نظریه کوانتومی در ۱۹۰۰ برداشته شد. در آن هنگام **ماکس پلانک** (Max Planck) در برلین دریافت که پرتو افشانی از جسم داغ سرخ، زمانی توضیح‌پذیر است که نور در بسته‌های گسسته‌ای به‌نام کوانتا گسیل یا جذب گردد. آینشتین در یکی از مقالات خط‌شکن خود که در ۱۹۰۵ نگاشته شده، نشان داد که فرضیه کوانتومی



(شکل ۱ ــ ۱۵)

هنگامی که ستاره‌ای بزرگ سوخت هسته‌ای خود را به پایان می‌رساند، گرمای خود را از دست مـی‌دهد و مـنقبض مـی‌شود. خـمیدگی فـضازمان چـنان افـزایش مـی‌یابد کـه سیاهچاله‌ای آفریده می‌شود و نور را از آن یارای گریز نیست. درون سیاهچاله زمان به پایان می‌رسد.

پلانک می‌تواند آنچه را که اثر فتوالکتریک خوانده می‌شود توضیح دهد. اثر فتوالکتریک به بیرون آمدن الکترون از برخی فلزات که در معرض نور قرار می‌گیرند می‌پردازد. این، پایه آشکارسازهای نوری مدرن و دوربینهای تلویزیونی است، و آینشتین به خاطر آن جایزه نوبل فیزیک را از آن خود ساخت.

آینشتین کار بر روی ایده کوانتوم را در سالهای ۱۹۲۰ پی گرفت، اما از آثار **ورنر هایزنبرگ** (Werner Heisenberg) در کپنهاگ، **پل دیراک** (Paul Dirac) در کمبریج و **اروین شرودینگر** (Erwin Schrödinger) در زوریخ که تصویری نوین از واقعیتی به‌نام مکانیک کوانتومی به دست دادند، بسیار برآشفت. دیگر ذرات کوچک، موقعیت و سرعت معین نداشتند. به جای آن، هرچه موقعیت یک ذره دقیقتر معین شود، سرعت آن با دقت کمتری می‌تواند تعیین گردد و برعکس. آینشتین از این ویژگی تصادفی و پیش‌بینی‌ناپذیر در قوانین بنیادین بیمناک بود و هرگز دربست مکانیک کوانتومی را نپذیرفت. احساسات او در این گفته مشهورش بیان شده است: «خداوند تاس نمی‌ریزد» با این همه بیشتر دانشمندان دیگر، اعتبار قوانین نوین کوانتومی را پذیرفتند چرا که بسیاری از پدیده‌هایی را که پیشتر توضیح‌ناپذیر مانده بودند، توضیح دادند و با مشاهدات به خوبی سازگار از آب درآمدند. آنها بنیان گسترشهای نوین در شیمی، زیست‌شناسی ملکولی و الکترونیک هستند و پایه فن‌آوری، که جهان را در پنجاه سال گذشته دگرگون ساخت، به‌شمار می‌روند.

آینشتین که می‌دانست نازیها و هیتلر در آستانه به قدرت رسیدن هستند، در دسامبر ۱۹۳۲ ، از آلمان خارج شد و چهار ماه بعد ترک تابعیت آلمان را نمود، و بیست سال واپسین زندگی را در مؤسسه

آلبرت آینشتین اندکی پس از ورود به آمریکا و اقامت همیشگی در آنجا در حالی که آدمک خود را در دست دارد

مطالعات پیشرفته در پرینستون در نیوجرسی سپری کرد.

در آلمان نازیها مبارزه‌ای علیه «دانش یهودی» و بسیاری از دانشمندان یهودی آلمانی به راه انداختند. این بخشی از دلایلی است که آلمان نتوانست بمب اتمی بسازد. آینشتین و نسبیت، آماجهای اصلی این مبارزه بودند. به آینشتین خبر دادند که کتابی به‌نام ***صد نویسنده علیه آینشتین*** منتشر شده است. او پاسخ داد: «چرا یکصد تن؟ اگر من بر خطا باشم، یکی هم کافی است.» پس از جنگ جهانی دوم او از متفقین

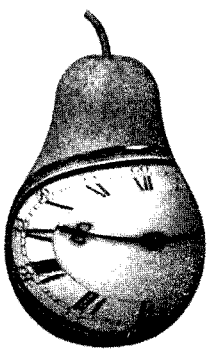
خواست که دستگاهی جهانی برای کنترل بمب اتمی برپا دارند. در سال ۱۹۴۸ پست ریاست‌جمهوری دولت نوین اسرائیل به وی پیشنهاد شد، اما نپذیرفت. او یک‌بار چنین گفت: «سیاست همین پنج روز و شش برجاست، اما یک معادله همیشه جاودانه است.» معادلات نسبیت عام آینشتین بهترین یادمان و گورنبشتهٔ او هستند. آنها تا گیتی برجای است، خواهند پایید.

جهان در یکصد سال گذشته بسیار بیشتر از هر سده دیگر دستخوش دگرگونی شده است. علت را نه در دکترین‌های نوین سیاسی یا اقتصادی بلکه در توسعه گسترده فن‌آوری باید جست که به دلیل پیشرفتهای علوم پایه امکان‌پذیر شدند. چه کسی به اندازه آینشتین نماد این پیشرفتهاست؟

بخش دوم

ریخت و شکل زمان

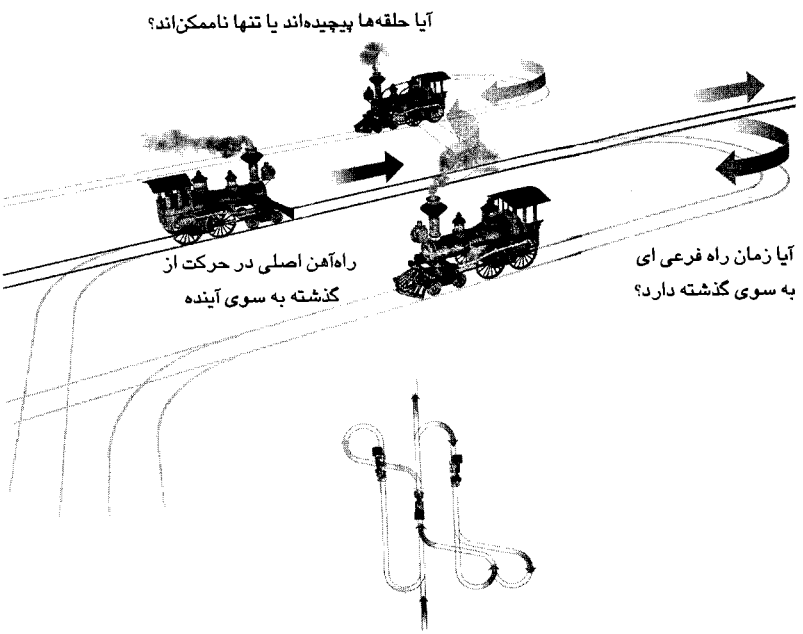
نظریه نسبیت عام آینشتین به زمان ریخت می‌بخشد
چگونه می‌توان آن را با نظریه کوانتومی آشتی داد



زمان چیست؟ آیا همچنان که یک سرود کهن می‌گوید، جویباری جاودانه غلتان است که همه رؤیاهای ما را با خود مـی‌برد؟ یـا همچون راه‌آهن است؟ شاید پیچها و شاخه‌هایی داشته باشد و از این‌رو بتوان جلو رفت و در عین حال به ایستگاه قبلی روی خط بازگشت (شکل ۲ ـ ۱).

نویسنده سده نوزدهم **چارلز لمب** (Charles Lamb) نوشت: «هیچ چیز مانند زمان و فضا مرا شگفت‌زده نمی‌کند؛ و باز هیچ چیز کم دردسرتر از زمان و فضا نیست، زیرا هرگز به آنها فکر نمی‌کنم.» زمان و فضا هر چه باشد، بیشتر مردم نگرانی چندانی درباره آن نـدارنـد؛ امـا هـمه مـا گـاه می‌پرسیم زمان چیست، چگونه آغاز شده و ما را به کجا می‌برد.

هر نظریه علمی سالم، خواه درباره زمان باشد یا هر مفهوم دیگر، به باور من باید بر پایه کارآمدترین فلسفه علم باشد: رویکرد اثبات‌گرایـانه **کارل پوپر** (Karl Popper) و دیگران. بر پایه این روش اندیشه، نظریه علمی یک مدل ریاضی است که مشاهدات ما را توصیف و تدوین می‌کند. یک نظریه خوب، گستره بزرگی از پدیده‌ها را بر پایه چند اصل موضوع ساده



(شکل ۲ ــ ۱)

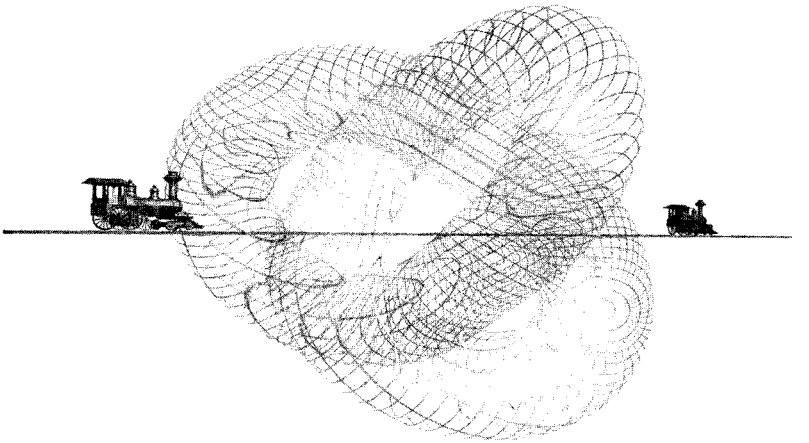
مدل زمان چون مسیر راه‌آهن

اما خط اصلی تنها در یک جهت ــ به‌سوی آینده ــ عمل می‌کند یا آنکه می‌تواند دور بزند و دوباره به خط اصلی در یک تقاطع پیشین بازگردد؟

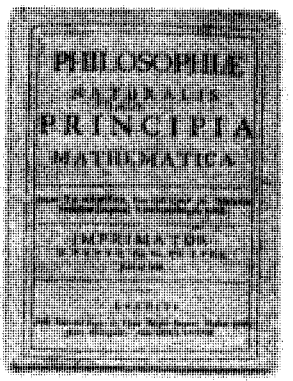
توصیف و پیش‌بینی‌هایی می‌کند که می‌تواند به بوته آزمایش گذاشته شود. اگر پیش‌بینی‌ها با مشاهدات جور درآید، نظریه از آن آزمایش سربلند بیرون می‌آید ولی هرگز نمی‌توان درستی آن را ثابت کرد. از سوی دیگر اگر مشاهدات با پیش‌بینی‌ها جور درنیاید، باید نظریه را رها کرد و یا آن را اصلاح نمود (دست کم این چیزی است که باید روی دهد. در عمل

مردمان اغلب دقت مشاهدات و قابل اعتماد بودن و خصوصیات اخلاقی مشاهده‌گران را مورد پرسش قرار می‌دهند). اگر موضع اثبات‌گرایانه را برگزینیم، همچنان که من کرده‌ام، نمی‌توانیم بگوییم به راستی زمان چیست. کاری که می‌توانیم بکنیم عبارت است از توصیف آنچه به‌عنوان یک مدل بسیار خوب ریاضی از زمان یافته‌ایم و برشمردن پیش‌بینی‌هایی که می‌تواند بکند.

اسحاق نیوتن (Isaac Newton) نخستین مدل ریاضی از زمان و فضا را در کتاب ***اصول ریاضی*** خود که به سال ۱۶۸۷ منتشر شد، به دست داد. نیوتن صاحب کرسی لوکازین در کمبریج بود. اکنون این کرسی در اختیار من است و البته در زمان او با برق کار نمی‌کرد. در مدل نیوتن، زمان و فضا زمینه‌ای بودند که رویدادها در آن اتفاق می‌افتاد، اما از رویدادها متأثر نمی‌شدند. زمان از فضا جدا بود و چونان تک خطی یا راه‌آهنی پنداشته می‌شد که از هر دو سو بی‌پایان و نامحدود بود. (شکل ۲ ــ ۲) زمان خود پدیده‌ای جاودان پنداشته می‌شد که بوده است و همواره خواهد بود. در مقابل، بیشتر مردمان می‌پنداشتند که جهان فیزیکی کم و بیش به همین حالت کنونی، تنها چند هزار سال پیش آفریده شده بود. فیلسوفانی چون، اندیشمند آلمانی، **امانوئل کانت** (Immanuel Kant) از این بابت نگران بودند. اگر جهان به راستی آفریده شده بود، دلیل انتظار نامحدود پیش از آفرینش چه بوده است؟ از سوی دیگر اگر جهان همواره وجود داشته، چرا هرآنچه قرار بود اتفاق بیفتد، تاکنون رخ نداده، و تاریخ به پایان نرسیده است؟ به‌ویژه چرا جهان به تعادل و ترازمندی گرمایی دست نیافته است و هرآنچه در جهان وجود دارد دارای دمای یکسانی نیست؟



(شکل ۲ ــ ۲)
زمان نیوتنی از فضا جدا بود، همچون راه‌آهنی که در دو سو به بی‌نهایت امتداد می‌یافت.

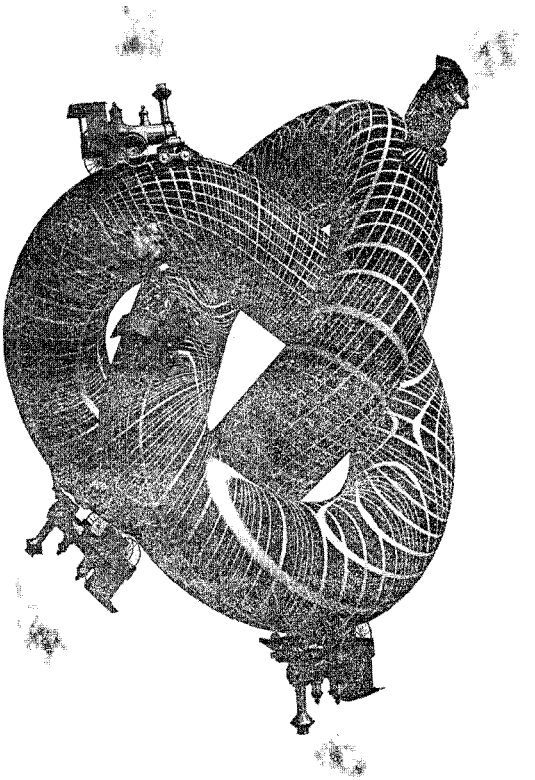


اسحاق نیوتن مدل ریاضی زمان و فضای خود را بیش از ۳۰۰ سال پیش منتشر کرد.

کانت این مسئله را «ناهمسازی خرد ناب» می‌نامید، زیرا به نظر یک تناقض منطقی می‌رسید و راه‌حلی نداشت. اما این تناقض، تنها در متن مدل ریاضی نیوتنی عرض‌اندام می‌کرد. در این مدل، زمان خطی نامحدود و مستقل از رویدادهای جهان پنداشته می‌شد. ولی همچنان که در بخش یک دیدیم، در سال ۱۹۱۵ مدل ریاضی یکسره نوینی به وسیله آینشتین مطرح گردید: نظریه نسبیت عام. در سالهای پس از نگارش نوشتار آینشتین، حشو و زوایدی بر آن نظریه افزوده شد اما مدل زمان و فضای ما همچنان بر پایه همان چیزی است که آینشتین پیشنهاد کرد. این بخش و بخشهای سپستر توصیف خواهند کرد که چگونه اندیشه‌های ما در سالهای پس از نوشتار انقلابی آینشتین، گسترش یافته است. این داستان پیروزی تلاش شمار زیادی از مردمان است و من نیز از اینکه سهم کوچکی در آن داشته‌ام، به خود می‌بالم.

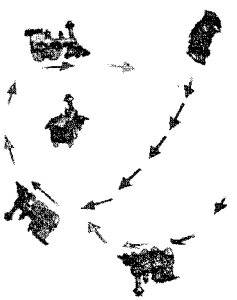
نسبیت عام بعد زمان را با سه بعد فضا درمی‌آمیزد تا فضازمان را شکل دهد (شکل ۲ ـ ۳) و می‌گوید توزیع ماده و انرژی در جهان، فضازمان را دچار خمیدگی و تابیدگی می‌سازد و بدین‌سان، تأثیر گرانش را جزئی از اجزای نظریه می‌کند. چیزها در این فضازمان می‌کوشند تا روی خط راست حرکت کنند، اما از آنجا که فضازمان خمیده است سیر آنها خمیده به نظر می‌رسد. آنان چنان حرکت می‌کنند که گویا زیر تأثیر یک میدان گرانشی هستند.

یک رویه یا صفحه لاستیکی، می‌تواند همانندی و قیاسی تقریبی به دست دهد، توپ بزرگی به نشانه خورشید برآن می‌نهیم. سنگینی توپ بر رویه لاستیکی فشار آورده، آن را نزدیک خورشید خمیده می‌سازد. اکنون اگر توپهای کوچکی را بر رویه بغلتانیم، آنها مستقیماً به



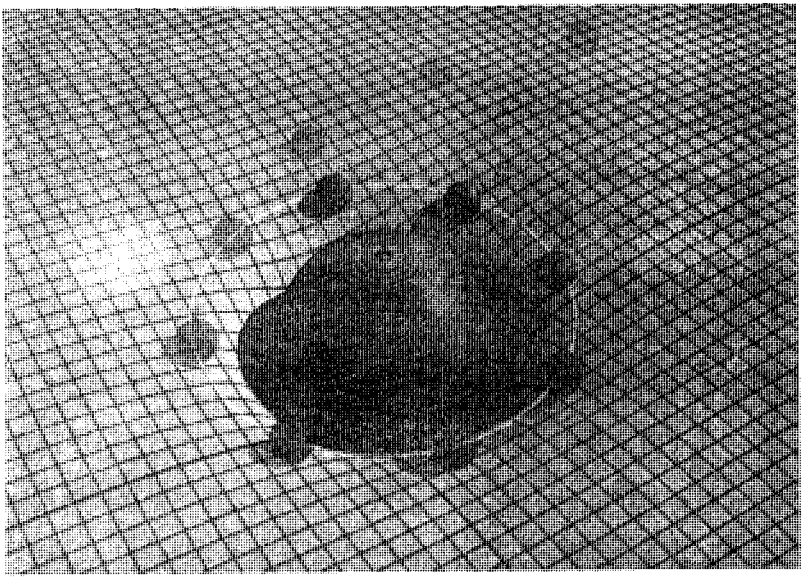
(شکل ۲ ـ ۳) *ریخت و جهت زمان*

نظریه نسبیت آینشتین که با شمار زیادی آزمایش تأیید شده است نشان می‌دهد که زمان و فضا به‌طور جدایی‌ناپذیری به‌هم پیوسته‌اند. کسی نمی‌تواند فضا را بدون درگیر شدن با زمان خمیده نماید. از این‌رو زمان ریخت دارد. اما به نظر می‌رسد که یک سویه است. همچنان که لوکوموتیوها در این تصویر نشان می‌دهند.



سوی دیگر نخواهند غلتید و در عوض پیرامون توپ سنگین خواهند چرخید، مانند سیاره‌ها به گرد خورشید (شکل ۲ ـ ۴).

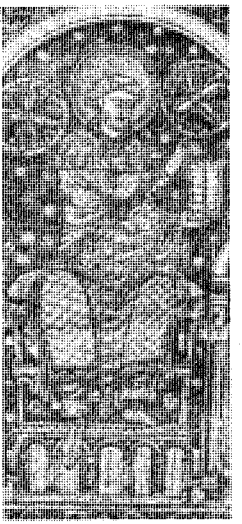
این همانندی ناقص است زیرا تنها مقطع دو بعدی از فضا (سطح یک رویه لاستیکی) خمیده است و زمان نیز مانند زمان نظریه نیوتنی بدون تغییر مانده است. با این همه در نظریه نسبیت که با شمار زیادی از



(شکل ۲ ـ ۴)

همانندی رویه لاستیکی

توپ بزرگ در مرکز نماینده جسمی توده‌ای چون خورشید است. وزن آن، رویه را در نزدیکیش خمیده می‌سازد. توپهای کوچک غلتان بر رویه، با این خمیدگی منحرف شده و پیرامون توپ بزرگ می‌گردند، همانگونه که سیاره‌ها در میدان گرانشی ستاره به گرد او می‌چرخند.



اگوستین پاک، اندیشمند سده پنجم، بر آن بود که زمان پیش از آغاز جهان وجود نداشت.

آزمونها جور درمی‌آید، زمان و فضا به گونه‌ای جدایی‌ناپذیر به یکدیگر گره خورده‌اند. نمی‌توان بدون درگیر شدن با زمان، فضا را دچار خمیدگی کرد. از این‌رو زمان دارای ریخت و شکل است. نسبیت عام با خمیدن فضا و زمان، آنان را از زمینه‌ای منفصل که در آن رویدادها رخ می‌دهند، به بازیگران فعال صحنه رویدادها تبدیل می‌کند. در نظریه نیوتنی که زمان مستقل از هر چیز دیگر وجود داشت، می‌توان پرسید: خداوند پیش از آفرینش جهان چه می‌کرد؟ همچنان که **آگوستین پاک** (Saint Augustin) گفته بود نمی‌توان این پرسش را شوخی پنداشت. کسی به شوخی پاسخ داده بود «او دوزخ را برای فضولان آماده می‌کرد.»

پرسش بالا سؤالی جدی است که سده‌ها مردمان به آن اندیشیده‌اند. آگوستین پاک برآن بود که خداوند پیش از آفرینش بهشت و

زمین، اصلاً چیزی نیافریده بود. درواقع، این باور به اندیشه‌های مدرن امروزی بسیار نزدیک است.

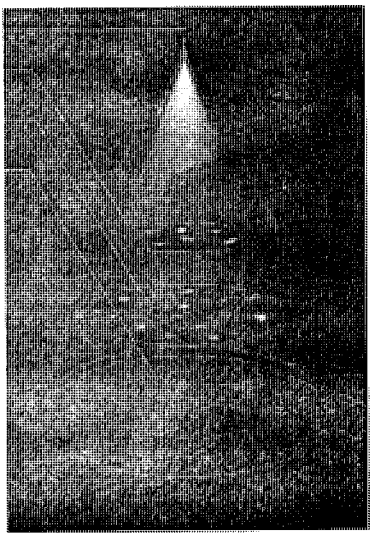
از سوی دیگر در نسبیت عام، زمان و مکان ناوابسته به جهان یا به یکدیگر وجود ندارند. آنها با اندازه‌گیریهای درون جهان مانند شمار لرزشهای بلور کوارتز درون یک ساعت، یا درازای یک خط‌کش تعریف می‌شوند. کاملاً قابل تصور است که زمانی که بدین‌ترتیب درون جهان تعریف می‌شود، باید مقدار کمینه یا بیشینه و به دیگر سخن آغاز یا پایانی داشته باشد. این پرسش که پیش از آغاز یا پس از پایان چه رخ می‌دهد، معنایی ندارد زیرا این زمانها تعریف نشده‌اند.

به روشنی بسیار مهم بود که تصمیم گرفته شود که مدل ریاضی نسبیت عام آغاز یا پایانی برای جهان و خود زمان **پیش‌بینی** می‌کند یا نه. پیشداوری همگانی در میان فیزیکدانان نظری ازجمله آینشتین آن بود که زمان باید در هر دو جهت نامحدود و بیکران باشد. وگرنه، پرسشهایی درباره آفرینش جهان مطرح می‌شد که بیرون از قلمرو دانش به نظر می‌رسید. پاسخهایی برای معادلات آینشتین یافته شده بود که در آن، زمان آغاز و انجامی داشت، اما اینها همگی بسیار ویژه و همراه با مقدار زیادی تقارن بودند. پنداشته می‌شد که در یک جسم واقعی که زیر تأثیر گرانش خود دارد فرو می‌پاشد، فشار یا سرعتهای کناری از فروریزی همه ماده در یک نقطه با چگالی بی‌نهایت، جلوگیری خواهند کرد. به همین سان، اگر گسترش جهان را به‌طور معکوس در زمان گذشته دنبال کنیم، درخواهیم یافت که ماده جهان همه از یک نقطه با چگالی بی‌نهایت پدیدار نشده است. چنین نقطه‌ای با چگالی بی‌نهایت **تکینگی** نام گرفت که آغاز یا پایان زمان می‌باشد.

در ۱۹۶۳ ، دو دانشمند روسی به نامهای **یوگنی لیفشیتز** (Evgenii Lifshitz) و **اسحاق خالاتنیکوف** (Isaac Khalatnikov) ادعا کردند که ثابت کرده‌اند آن پاسخهای معادلات آینشتین که با تکینگی همراه هستند، همگی دارای ترتیبات خاصی از ماده و سرعتها می‌باشند و احتمال آنکه پاسخی که نمایانگر جهان است، این ترتیبات ویژه را داشته باشد، عملاً صفر است. کم و بیش همه پاسخهایی که می‌توانست نمایانگر جهان باشد از داشتن تکینگی با چگالی بی‌نهایت اجتناب می‌ورزیدند: پیش از دوران گسترش جهان، می‌بایست دوران انقباضی وجود داشته باشد که طی آن ماده بر روی خود فرو می‌پاشید، اما برخوردی روی نداد و اجزای ماده باز از یکدیگر دور شدند و مرحله گسترش کنونی تشکیل گردید. اگر چنین چیزی درست باشد، زمان جاودانه خواهد پایید؛ از گذشته بیکران تا آینده بی‌پایان.

استدلال لیفشیتز و خالاتنیکوف همه را خشنود نساخت. به جای آن، پنروز و من رویکرد دیگری را برگزیدیم که نه بر مطالعه دقیق پاسخهای معادلات، بلکه بر ساختار کلی فضازمان بنیان داشت. در نسبیت عام، نه‌تنها چیزهای توده‌ای درون فضازمان، بلکه انرژی درون آن نیز، فضازمان را دچار خمیدگی می‌کند. انرژی همواره کمیتی مثبت است از این‌رو فضازمان را پیچ و تاب می‌دهد و پرتوهای نور را به سوی یکدیگر خم می‌کند.

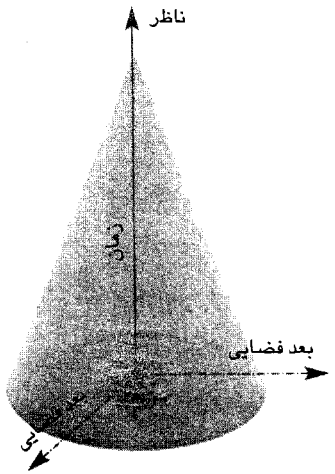
اینک مخروط نوری گذشته‌مان را در نظر بگیرید (شکل ۲ ـ ۵)، یعنی مسیرهای پرتوهای نور کهکشانهای دوردست که از دل فضازمان گذشته و در زمان حال به ما می‌رسند. در نموداری که زمان بر محور عمودی و فضا بر محورهای کناری رسم شده‌اند، این مخروطی است که



(شکل ۲ ــ ۵)

مخروط نوری گذشته ما

هنگامی که به کهکشانهای دوردست می‌نگریم، به جهان در زمانی پیشتر نگاه می‌کنیم، زیرا نور با سرعت محدودی حرکت می‌کند. اگر زمان را با محور عمودی و دو بعد از سه بعد زمانی را با دو محور افقی نمایش دهیم، نوری که اینک در رأس به ما می‌رسد، روی یک مخروط به‌سوی ما در حرکت بوده است.



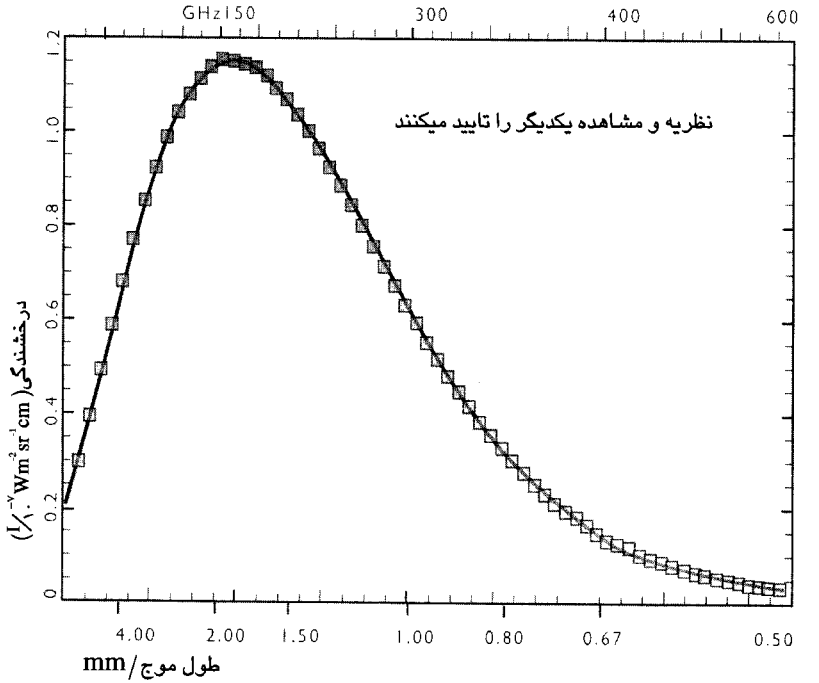
در رأس آن، قرار گرفته‌ایم. همچنان که از رأس به پایین می‌رویم، و به گذشته برمی‌گردیم کهکشانها را در زمانهای دورتر و دورتر می‌بینیم. هرچه به گذشته‌های دورتر بنگریم، مناطقی با ماده چگالتر می‌بینیم، چراکه در جهان در حال گسترش، همه چیز قبلاً به همدیگر نزدیکتر بوده است. ما زمینه‌ای ضعیف و کم‌سو از تابش ریز موج را مشاهده می‌کنیم که از زمانهای بسیار دور، هنگامی که جهان بس چگالتر و داغتر از اکنون بود، در راستای مخروط نوری گذشته‌مان به سوی ما منتشر می‌گردد. با تنظیم گیرنده‌ها روی فرکانسهای مختلف ریز موج، می‌توان طیف (توزیع توان که بر پایه فرکانس مرتب شده است) این تابش را به دست آورد. طیف به دست آمده همسان با طیف نمودگر تابش جسمی در دمای ۲/۷ درجه بالاتر از صفر مطلق است. این تابش ریز موج به درد گرم کردن پیتزای یخ بسته نمی‌خورد، اما همخوانی و تطابق دقیق طیف آن با طیف تابش جسمی در دمای ۲/۷ درجه بالاتر از صفر مطلق، به ما می‌گوید که این تابش باید از مناطقی آمده باشد که برای ریزموجها کدر و تیره‌اند (شکل ۲ ـ ۶).

پس با پیگیری گذشته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که مخروط نوری گذشته ما باید از میان مقدار معینی ماده گذر کرده باشد. این مقدار ماده برای خمیدن فضازمان بسنده است، از این‌رو پرتوهای نوری در مخروط نوری گذشته ما، به سوی یکدیگر خم می‌گردند (شکل ۲ ـ ۷).

همچنان که به گذشته بازمی‌گردیم، مقطع مخروط نوری گذشته ما به اندازه بیشینه‌ای می‌رسد سپس دوباره کوچکتر می‌گردد. گذشته ما به شکل گلابی است (شکل ۲ ـ ۸).

طیف تابش زمینه ریز موج کیهانی که Cobe اندازه‌گیری کرده‌است

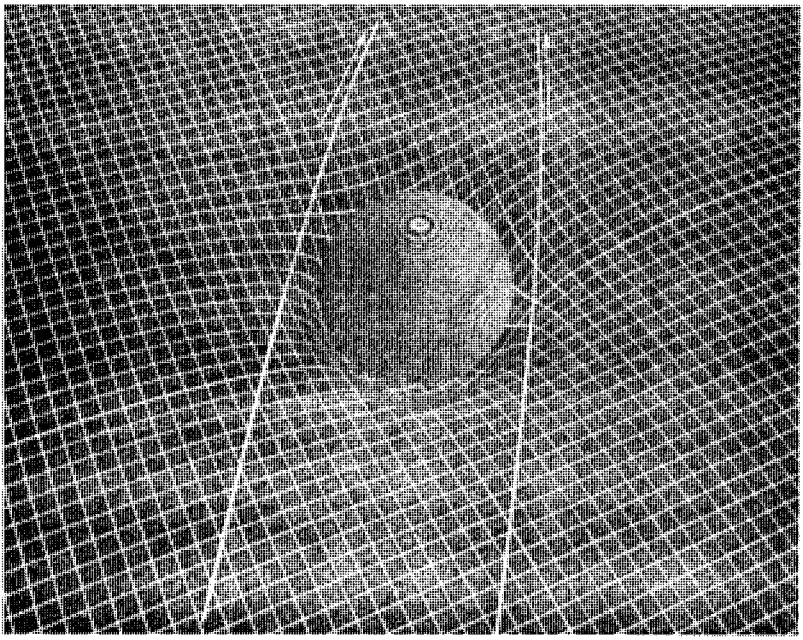
طیف تابش زمینه ریز موج کیهانی اندازه‌گیری شده توسط COBE



(شکل ۲ ــ ۶)

اندازه‌گیری طیف تابش زمینه ریزموج

طیف ــ توزیع شدت به نسبت فرکانس ــ تابش زمینه ریز موج کیهانی مانند طیف نمودگر تابش یک جسم داغ است. برای آنکه تابش در ترازمندی گرمایی باشد، ماده باید آن را بارها پراکنده باشد. این نشان می‌دهد که در مخروط نوری گذشته ما باید به اندازه کافی ماده وجود داشته باشد تا آن را دچار خمیدگی نماید.



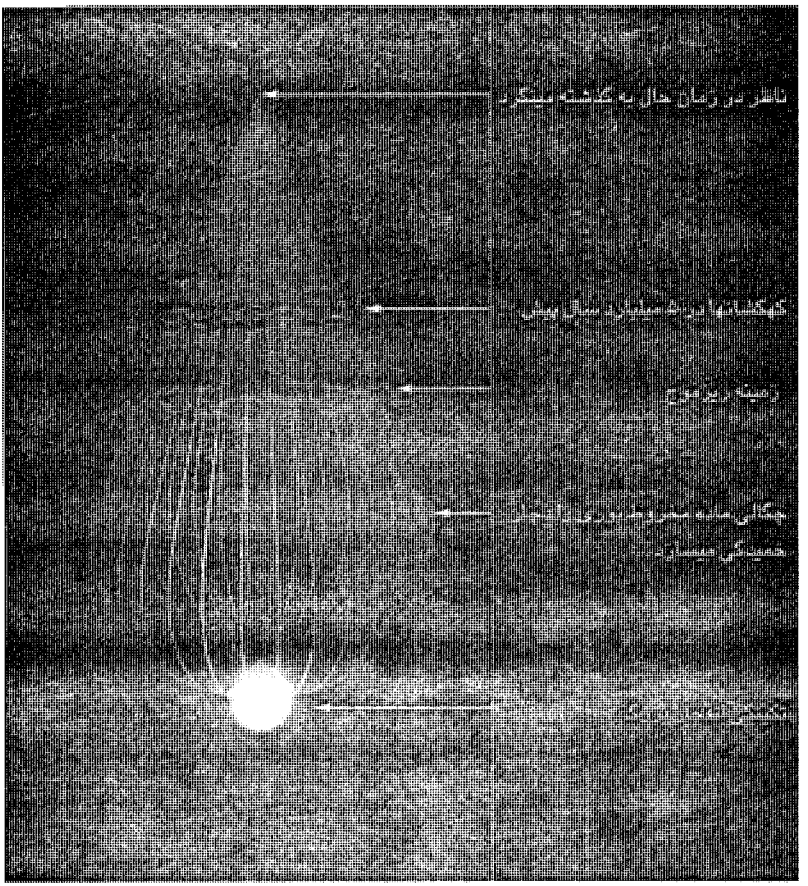
(شکل ۲ ــ ۷)

خمیدگی فضازمان

از آنجا که گرانش رباینده و جذب‌کننده است، ماده همیشه فضازمان را چنان خمیده می‌سازد که پرتوهای نور به‌سوی یکدیگر خم می‌شوند.

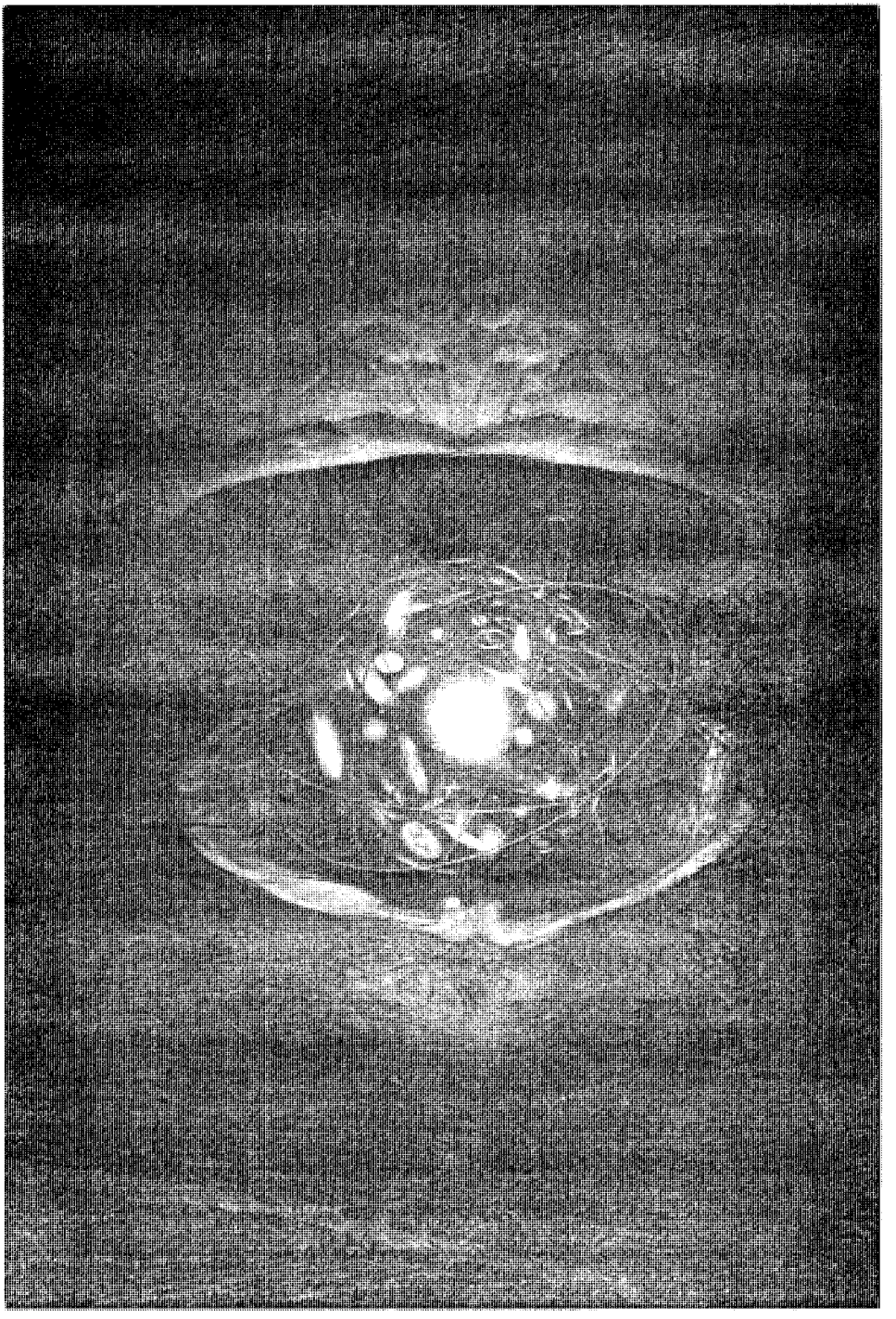
اگر باز هم سفر به گذشته را در مخروط نوری گذشته‌مان ادامه دهیم، چگالی انرژی مثبت ماده موجب می‌شود پرتوهای نور با شدت بیشتری به سوی هم خم شوند. مقطع مخروط نوری در زمانی محدود به صفر می‌رسد. این به معنای آن است که همه ماده درون مخروط نوری گذشته ما در ناحیه‌ای که مرزش به صفر کاهش می‌یابد، به دام می‌افتد. در این صورت چندان شگفت‌انگیز نبود که پنروز و من توانستیم ثابت کنیم که در مدل ریاضی نسبیت عام، زمان باید در آنچه انفجار بزرگ نامیده می‌شود، آغازی داشته باشد. به همین‌سان می‌توان برهان آورد که زمان، هنگامی که ستارگان و کهکشانها زیر گرانش خودشان فرو می‌پاشند و سیاهچاله‌ها را می‌سازند، پایانی خواهد داشت. ما با رها کردن فرض ضمنی کانت مبنی بر اینکه زمان مستقل از جهان معنایی دارد، از ناهمسازی خرد ناب وی پرهیز نمودیم. در سال ۱۹۶۸ نوشتار ما که ثابت می‌کرد زمان دارای آغازی است، جایزه دوم مسابقه‌ای را ربود که زیر نظر بنیاد پژوهش گرانش برگزار می‌شد، و راجر و من، مبلغ شاهانه ۳۰۰ دلار را نصف کردیم. گمان نمی‌کنم مقاله‌های دیگری که در آن سال برنده شدند، ارزش چندان به جای ماندنی را از خود نشان داده باشند.

واکنشهای مختلفی نسبت به کار ما ابراز شد. بسیاری از فیزیکدانان برآشفتند، اما آن رهبران مذهبی که به فرمان آفرینش باور داشتند، خرسند شدند زیرا اکنون دلایلی علمی برای باور خود یافته بودند. در این میان، لیفشیتز و خالاتنیکوف در وضعیت دشواری قرار گرفتند. آنها نمی‌توانستند با قضیه‌های ریاضی که ما ثابت کرده بودیم به جدال برخیزند، اما در نظام شوروی یارای تصدیق خطای خود و درستی دانش غرب را نداشتند. با این همه آنان موفق شدند خانواده عامتری از

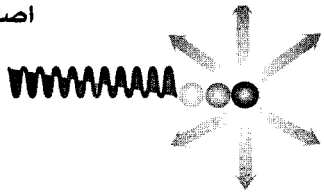


(شکل ۲ ــ ۸) *زمان به شکل گلابی است*

اگر مخروط نوری گذشته‌مان را در طول زمان دنبال کنیم، می‌بینیم که در جهان نخستین ماده آن را خمیده کرده بود. همه جهانی را که مشاهده می‌کنیم در ناحیه‌ای قرار دارد که کرانه آن در انفجار بزرگ به صفر می‌رسد. این یک تکینگی است، جایی که چگالی ماده بی‌نهایت است و نسبیت عام کلاسیک در آن در هم می‌شکند.

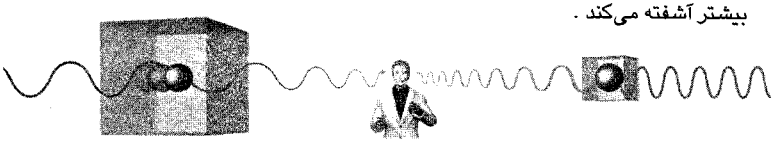


اصل عدم قطعیت



طول موجهای با فرکانس زیاد سرعت ذره را بیشتر آشفته می‌کند .

طول موجهای با فرکانس کم، سرعت ذره را کمتر آشفته می کند.



هر چه طول موج به کار رفته‌برای مشاهده ذره کوتاهتر باشد، قطعیت و اطمینان موقعیت آن بیشتر است.

هر چه طول موج به کار رفته برای مشاهده ذره بلند تر باشد ، عدم قطعیت موقعیت آن بیشتر است .

پیشنهاد ماکس پلانک (Max Planck) در سال ۱۹۰۰ مبنی بر اینکه نور همواره در بسته‌های کوچکی به‌نام کوانتا منتشر می‌شود، گامی مهم در کشف نظریه کوانتومی بود. اما با آنکه فرضیه کوانتومی پلانک به روشنی مشاهدات مربوط به نرخ تابش از اجسام داغ را توضیح می‌داد، دامنه کامل پیامدهای آن تا میانه سالهای ۱۹۲۰ دریافته نشد. در آن زمان فیزیکدان آلمانی به‌نام ورنر هایزنبرگ (Werner Heisenberg) اصل عدم قطعیت پر آوازه خود را فرمول‌بندی کرد. او دریافت که فرضیه پلانک مستلزم آن است که هرچه با دقت بیشتری موقعیت یک ذره را اندازه‌گیری کنیم، با دقت کمتری می‌توان سرعت آن را اندازه گرفت و برعکس.

به بیان دقیقتر، او نشان داد که عدم قطعیت در موقعیت یک ذره ضربدر عدم قطعیت در اندازه حرکت آن باید همواره از ثابت پلانک بزرگتر باشد. ثابت پلانک کمیتی است که پیوندی نزدیک با انرژی نهفته در یک بسته نور دارد.

معادله عدم قطعیت هایزنبرگ

ناکوچکتر از ثابت پلانک = جرم ذره x عدم قطعیت در سرعت ذره x عدم قطعیت در موقعیت ذره

میدان ماکسول

در ۱۸۶۵ ، فیزیکدان بریتانیایی، جیمز کلارک ماکسول (James Clark Maxwel) ، همه قوانین شناخته شده الکتریسیته و مغناطیس را به هم آمیخت. نظریه ماکسول بر پایه وجود «میدانها» ست که کنش را از جایی به جای دیگر منتقل می‌کنند. او دریافت میدانهایی که آشفتگیهای الکتریکی و مغناطیسی را جابه‌جا می‌کنند هویتی دینامیک دارند: آنها نوسان می‌کنند و در فضا حرکت می‌نمایند.

آمیزش الکترومغناطیس توسط ماکسول را می‌توان در دو معادله فشرده ساخت که ساز و کار این میدانها را بازگو می‌نماید. او خود نخستین استنتاج بزرگ از این معادلات را مطرح ساخت: موجهای الکترومغناطیس با هر فرکانسی در فضا با سرعت ثابتی برابر با سرعت نور حرکت می‌کنند.

پاسخهای دارای تکینگی را بیابند که مانند پاسخهای قبلیشان، ویژه نبودند. بدین‌سان خود را از آن وضعیت دشوار بیرون کشیدند و توانستند تکینگی و آغاز یا پایان زمان را، چونان دستاورد نظام شوروی اعلام نمایند.

بیشتر فیزیکدانان هنوز به‌طور غریزی از اندیشه آغاز و پایان جهان خوششان نمی‌آمد. بنابراین خاطرنشان ساختند که نمی‌توان چشم داشت که مدل ریاضی، توصیف خوبی از فضازمان در نزدیکی یک تکینگی باشد زیرا همچنان که در بخش یک گفتیم، نسبیت عام که نیروی گرانشی را توصیف می‌کند، نظریه‌ای کلاسیک است و عدم قطعیتِ نظریه کوانتومی را، که بر همه نیروهای دیگری که می‌شناسیم فرمان می‌راند، با خود نیامیخته است. این ناهمسازی و تناقض در بیشتر جاهای جهان و بیشتر زمان، اهمیت ندارد، زیرا مقیاس خمیدگی فضازمان بسیار بزرگ و مقیاسی که تأثیرات کوانتومی اهمیت دارند، بسیار کوچک است. اما در نزدیکی یک تکینگی، هر دو مقیاس، مشابه هستند و تأثیرات گرانشی کوانتومی اهمیت می‌یابند. از این‌رو آنچه قضیه‌های تکینگی پنروز و من به راستی بنیاد گذاشت آن است که ناحیه کلاسیک فضازمان ما، توسط ناحیه‌هایی به گذشته، و احتمالاً به آینده، محدود می‌شود که گرانش کوانتومی در آنها اهمیت دارد.

برای درک سرچشمه وسرنوشت جهان به‌یک نظریه کوانتومی گرانش نیاز داریم و بیشتر نوشته‌های این کتاب، به این موضوع خواهد پرداخت.

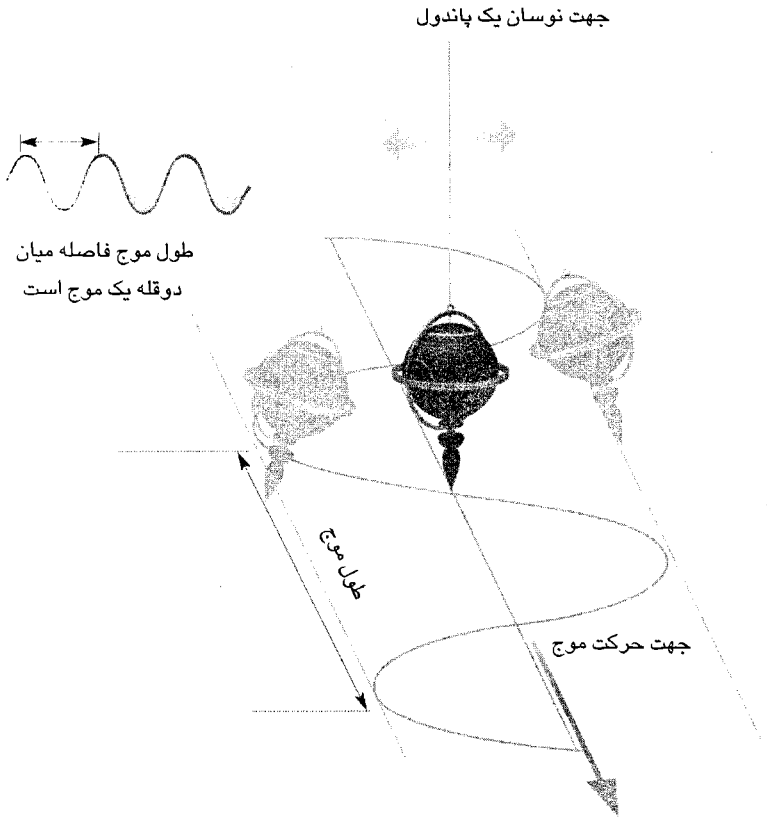
نظریه‌های کوانتومیِ سیستمهایی چون اتمهایی که شمار محدودی از ذرات را دارند، در سالهای ۱۹۲۰ به وسیله **هایزنبرگ** (Heisenberg)، شرودینگر و دیراک فرمول‌بندی شد. (دیراک یکی دیگر از صاحبان

پیشین کرسی کنونی من در کمبریج بود و در زمان او هنوز این کرسی دارای موتور نبود) با این همه در تلاش برای گسترش اندیشه‌های کوانتومی به میدان ماکسول، که الکتریسیته، مغناطیس و نور را توصیف می‌کند، دشواریهایی پدیدار می‌شد.

میدان **ماکسول** را می‌توان متشکل از موجهایی با طول موجهای مختلف (فاصله میان دو قله پیاپی موج) پنداشت. در یک موج، میدان همچون پاندولی از یک مقدار به مقدار دیگر نوسان می‌کند (شکل ۲ ـ ۹).

بنا بر نظریه کوانتومی، تراز پایه یا پایین‌ترین تراز انرژی یک پاندول، صرفاً این نیست که پاندول بر جایی که کمترین انرژی را دارد بنشیند و مستقیماً پایین را نشانه بگیرد. این امر منجر به داشتن موقعیت معین و سرعت معین، یعنی صفر می‌گردد و اصل عدم قطعیت را که اندازه‌گیری دقیق موقعیت و سرعت را به‌طور همزمان روا نمی‌دارد، نقض می‌نماید. عدم قطعیت در موقعیت ضربدر عدم‌قطعیت در اندازه حرکت باید بیش ازکمیتی معین به‌نام ثابت پلانک باشد. ثابت پلانک عددی است با ارقام بسیار زیاد و نوشتن آن دشوار است از این‌رو نماد h را برای آن به‌کار می‌بریم.

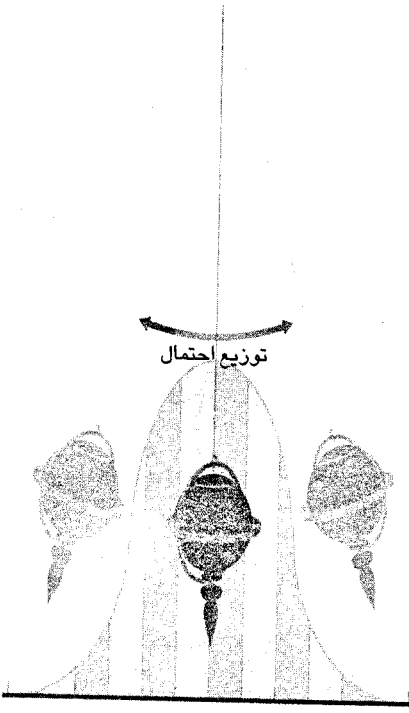
بنابراین تراز پایه یا پایین‌ترین تراز انرژی یک پاندول، آنچنان که ممکن است پنداشته شود، برابر با صفر نیست. به جای آن، پاندول یا هر سیستم نوسانگر دیگری حتی در تراز پایه خود باید مقدار انرژی کمینهٔ معینی از آنچه افت و خیزهای نقطه صفر خوانده می‌شود، داشته باشد. این بدان معناست که پاندول به ناچار درست پایین را نشانه نمی‌رود و احتمال آن وجود دارد که پاندول در زاویه کوچکی نسبت به عمود یافت شود (شکل ۲ ـ ۱۰). همانند آن، حتی در خلأ یا در پایین‌ترین تراز



(شکل ۲ ــ ۹)

موج متحرک با پاندول نوسانگر

تابش الکترومغناطیسی در فضا به‌صورت موج حرکت می‌کند. میدانهای الکتریکی و مغناطیسی آن همچون یک پاندول در جهتهایی عمود بر جهت حرکت موج در نوسان هستند. تابش می‌تواند از میدانهایی با طول موجهای گوناگون تشکیل شود.



(شکل ۲ ــ ۱۰)

پاندول با توزیع احتمال

برابر با اصل هایزنبرگ، محال است که پاندولی در نقطه‌ای مطلقاً به پایین نشانه رود و در همان حال سرعتش صفر باشد. به جای آن، نظریه کوانتومی پیش‌بینی می‌کند که پاندول حتی در پایین‌ترین تراز انرژیش باید مقدار کمینهٔ افت و خیز را دارا باشد.

یعنی موقعیت و جای پاندول با توزیع احتمال مشخص می‌شود. محتمل‌ترین مکان پاندول در تراز پایه‌اش، جایی است که به‌سوی پایین نشانه می‌رود، اما همچنین احتمال آن هست که در تراز پایه، پاندول نسبت به محور عمودی، زاویه کوچکی داشته باشد.

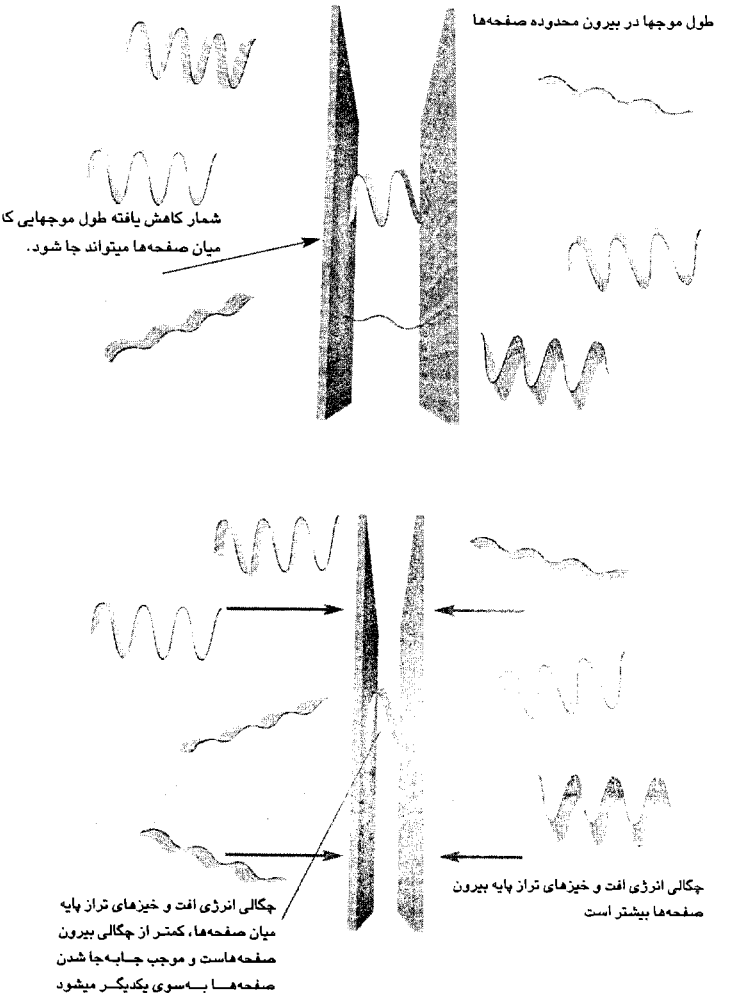
انرژی، موجهای میدان ماکسول دقیقاً صفر نخواهند بود، بلکه می‌توانند اندازه‌های کوچکی داشته باشند. هرچه فرکانس (شمار نوسانها در دقیقه) پاندول یا موج بیشتر باشد، انرژی تراز پایه بیشتر خواهد بود.

محاسبات افت و خیزهای تراز پایه در میدانهای ماکسول و الکترونی، جرم ظاهری و بار الکترون را بی‌نهایت نشان می‌دهد، حال آنکه این نتایج با مشاهدات همخوانی ندارد. با این همه در دهه ۱۹۴۰، فیزیکدانان: **ریچارد فینمن** (Richard Feynman) و **جولین شوینگر** (Julian Schwinger) و **شی‌نی‌چیرو تومونا گا** (Shinichiro Tomonaga) راهی سازگار برای ازمیان بردن یا «تفریق کردن» این بی‌نهایتها و سر و کار داشتن با صرفاً مقادیر مشاهده شده محدود و کرانمندِ جرم و بار، به دست دادند. افت و خیزهای تراز پایه هنوز تأثیرات کوچکی برجا می‌گذاشتند و سنجش‌پذیر بودند و به خوبی با آزمایش مطابقت داشتند. طرحهای تفریقی همسانی برای ازمیان برداشتن بی‌نهایتها در میدان **یانگ ــ میلز** (Yang-Mills)، در نظریه‌ای که به وسیله **چن نینگ یانگ** (Chen Ning Yang) و **رابرت میلز** (Robert Mills) پیشنهاد شد، کارگر افتاد. نظریه یانگ ــ میلز بسط و گسترش نظریه ماکسول است که به توصیف اندرکنشها در دو نیروی دیگر به نامهای نیروهای هسته‌ای ضعیف و قوی می‌پردازد. با این وجود، افت و خیزهای تراز پایه در یک نظریه کوانتومی گرانش، تأثیری بس جدی‌تر دارند. باز هم هر طول موج، یک انرژی تراز پایه دارد. از آنجا که هیچ حد پایینی برای طول موجهای میدان ماکسول وجود ندارد، در هر ناحیه فضازمان، شمار نامحدودی طول موجهای مختلف و مقدار ناکرانمندی انرژی تراز پایه وجود دارد. چگالی انرژی، همانند ماده، منشأ گرانش است. این چگالیِ انرژی ناکرانمند ناچار به

معنای آن است که در جهان، کشش گرانشی کافی برای درهم پیچیدن فضازمان و تبدیل آن به یک تک‌نقطه یافت می‌شود؛ چیزی که به روشنی رخ نداده است.

شاید کسی امیدوار باشد این تناقض نمایان میان مشاهده و نظریه را با گفتن اینکه افت و خیزهای تراز پایه تأثیر گرانشی ندارند، حل کند. اما این چاره‌ساز نیست. می‌توان انرژی افت و خیزهای تراز پایه را با **اثر کازیمیر** (Casimir effect) آشکار ساخت. یک جفت صفحه فلزی را به موازات یکدیگر و نزدیک هم قرار می‌دهیم، صفحه‌ها موجب می‌شوند که مقدار طول موجهایی که میان آنها جا می‌شوند از مقدار طول موجهای بیرون صفحات، اندکی کمتر شود. یعنی چگالی انرژی افت و خیزهای تراز پایه میان صفحات، اگرچه هنوز نامحدود است، اما از چگالی انرژی بیرون صفحات، به مقدار متناهی و کرانمندی، کمتر است (شکل ۲ ـ ۱۱). این تفاوت چگالی انرژی منجر به ایجاد نیرویی می‌شود که صفحات را به سوی همدیگر می‌کشاند، و این نیرو با آزمایش، مشاهده شده است. در نسبیت عام، نیروها همچون ماده، سرچشمه گرانش هستند، بنابراین چشمپوشی از تأثیر گرانشی این تفاوت انرژی، ناهمساز است.

پاسخ احتمالی دیگر به مسئله، شاید آن است که فرض کنیم یک ثابت کیهانی وجود دارد، همانند آنچه آینشتین در تلاش برای داشتن یک مدل ایستا از جهان، معرفی کرد. اگر این ثابت، مقدار منفی بی‌نهایت داشته باشد، می‌تواند مقدار مثبت بی‌نهایت انرژیهای تراز پایه در فضای آزاد را دقیقاً حذف نماید، اما این ثابت کیهانی بسیار تک‌کاره و فاقد عمومیت به نظر می‌رسد و باید با دقت فوق‌العاده‌ای تنظیم شود.



(شکل ۲ ــ ۱۱)

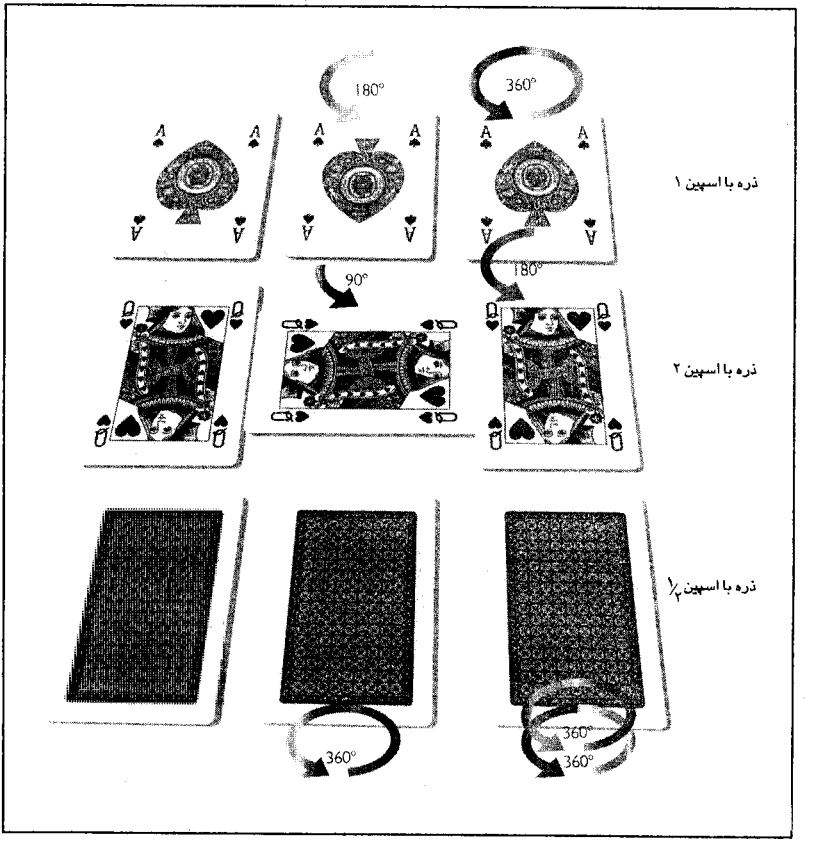
اثر کازیمیر

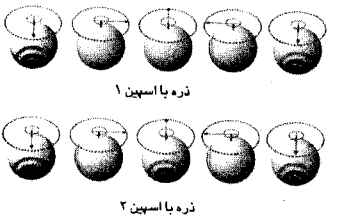
وجود افت و خیزهای تراز پایه توسط اثر کازیمیر در آزمایش تأیید شده است: نیرویی اندک میان صفحه‌های فلزی موازی.

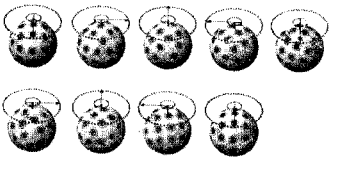
خوشبختانه در دهه هفتاد یک نوع کاملاً تازه تقارن کشف شد که سازوکار فیزیکی طبیعی‌ای را برای حذف کردن بی‌نهایتهای ناشی از افت و خیزهای تراز پایه، فراهم می‌آورد. ابرتقارن، سیمای ویژه مدلهای ریاضی مدرن ماست که می‌توان آن را به راههای مختلف توصیف کرد. یک راه آن است که بگوییم فضازمان، ابعاد اضافی، افزون بر ابعادی که ما تجربه می‌کنیم، داراست. آنها ابعاد **گراسمان** (Grassmann) نامیده می‌شوند زیرا با اعدادی به‌نام متغیرهای گراسمان سنجیده می‌شوند و نه با اعداد حقیقی معمولی. اعداد حقیقی جابه‌جایی‌پذیرند، یعنی نوع ضرب کردن آنها درهم تفاوتی ندارد. ۶ ضربدر ۴ برابر است با ۴ ضربدر ۶. اما متغیرهای گراسمان جابه‌جایی ستیزند: x ضربدر y برابر است با y- ضربدر x.

ابرتقارن نخست برای ازمیان برداشتن بی‌نهایتها در میدانهای ماده و میدانهای یانگ ـ میلز در فضازمانی که هم ابعاد اعداد معمولی و هم ابعاد گراسمان، تخت و ناخمیده بودند، در نظر گرفته شد. اما طبیعی بود که آن را به ابعاد اعداد معمولی و ابعاد گراسمان که خمیده بودند، گسترش دهیم. این گسترش به شماری از نظریه‌ها با مقادیر مختلفی ابرتقارن انجامید که ابرگرانش نام گرفتند. یک نتیجه ابرتقارن آن است که هر میدان یا ذره باید یک «ابرهمدست» با اسپینی که یا $\frac{1}{2}$ از اسپین خودش بیشتر است یا $\frac{1}{2}$ کمتر، داشته باشد (شکل ۲ ـ ۱۲).

انرژیهای تراز پایهٔ بوزون‌ها، میدانهایی که اسپین آنها اعداد صحیح است (۰، ۱، ۲ و مانند آن) مثبت می‌باشند. از سوی دیگر انرژیهای تراز پایهٔ فرمیون‌ها که اسپین آنها اعداد نیمه است ($\frac{1}{2}$، $\frac{3}{2}$ و مانند آن) منفی می‌باشند. از آنجا که شمار بوزون‌ها و فرمیون‌ها برابر است، بزرگترین بی‌نهایتها در نظریه‌های ابرگرانش حذف می‌شوند (شکل ۲ ـ ۱۳).






ذره با اسپین ½

(شکل ۲ ـ ۱۲) *اسپین*

همه ذرات دارای ویژگی به‌نام اسپین هستند که مربوط می‌شود به اینکه ذره از جهتهای مختلف به چه شکل و شمایلی به‌نظر می‌رسد. این ویژگی را با یک دسته کارت می‌توان توضیح داد. نخست کارت آس پیک را در نظر بگیرید. تنها اگر یک دور کامل یا ۳۶۰ درجه آن را بچرخانیم، به همان صورت اول به نظر خواهد رسید، پس می‌گوییم اسپین آن ۱ است.

از سوی دیگر بی‌بی دل دو سر دارد. تنها با نیم دور یا ۱۸۰ درجه چرخش به همان صورت اول به نظر می‌رسد، پس اسپین آن ۲ است. به همین ترتیب می‌توان چیزهایی را تصور کرد که دارای اسپین ۳ یا بیشتر هستند و با کسری از یک دور چرخش، به‌صورت نخست به‌نظر می‌رسند.

هرچه اسپین بیشتر باشد، کسری از چرخش لازم برای یکسان دیدن ذره، کوچکتر است. اما نکته جالب آن است که ذراتی وجود دارند که تنها زمانی به‌صورت اول به‌نظر می‌رسند که دو دور کامل آنها را بچرخانیم. چنین ذراتی دارای اسپین $\frac{1}{2}$ هستند.

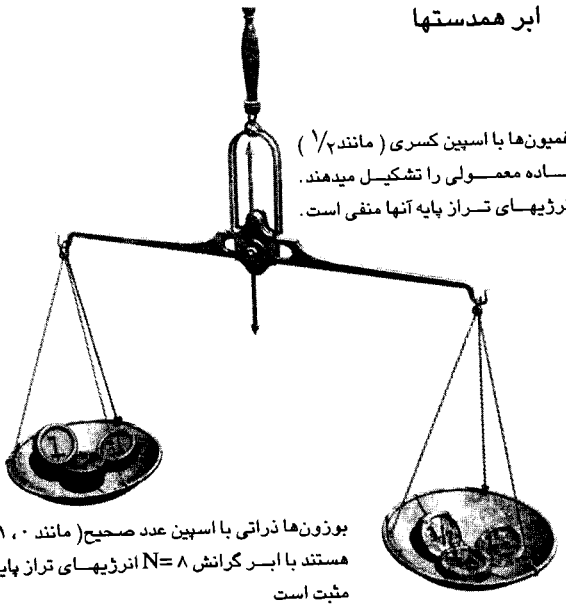
اعداد معمولی

$$A \times B = B \times A$$

اعداد گراسمان

$$A \times B = -B \times A$$

ابر همدستها



فرمیون‌ها با اسپین کسری (مانند $\frac{1}{2}$) ماده معمولی را تشکیل میدهند. انرژیهای تراز پایه آنها منفی است.

بوزون‌ها ذراتی با اسپین عدد صحیح(مانند ۰، ۱، ۲) هستند با ابر گرانش $N=8$ انرژیهای تراز پایه آنها مثبت است

(شکل ۲ ــ ۱۳)

همه ذرات شناخته شده در جهان به یکی از دو گروه زیر تعلق دارند: فرمیون‌ها و بوزون‌ها. فرمیون‌ها ذراتی با اسپین نیمه صحیح (مانند اسپین $\frac{1}{2}$) هستند و ماده معمولی را تشکیل می‌دهند. انرژیهای ترازپایه آنها منفی است.

بوزون‌ها ذراتی با اسپین صحیح‌اند (مانند ۰، ۱ و ۲)، و این امر موجب ایجاد نیروهایی همچون نیروی گرانش و نور میان فرمیونها می‌شود. انرژیهای تراز پایه آنها مثبت است. نظریه ابر گرانش فرض می‌کند که هر فرمیون و هر بوزون ابر همدستی دارد که اسپین آن از اسپین خود ذره، یا $\frac{1}{2}$ بزرگتر یا $\frac{1}{2}$ کوچکتر است. برای نمونه، فوتون (که بوزن است) دارای اسپین ۱ است. انرژی ترازپایه آن مثبت است. ابر همدست فوتون به‌نام فوتینو (Photino) دارای اسپین $\frac{1}{2}$ و در نتیجه فرمیون است. پس انرژی ترازپایه آن منفی می‌باشد.

در این طرح ابر گرانشی، شمار بوزون‌ها و فرمیون‌ها برابر است. انرژیهای ترازپایه بوزون‌ها در کفه مثبت و انرژیهای ترازپایه فرمیون‌ها در کفه منفی قرار می‌گیرد و یکدیگر را حذف می‌کنند و بزرگترین بی‌نهایتها را از میان برمی‌دارند.

مدلهای رفتار ذره

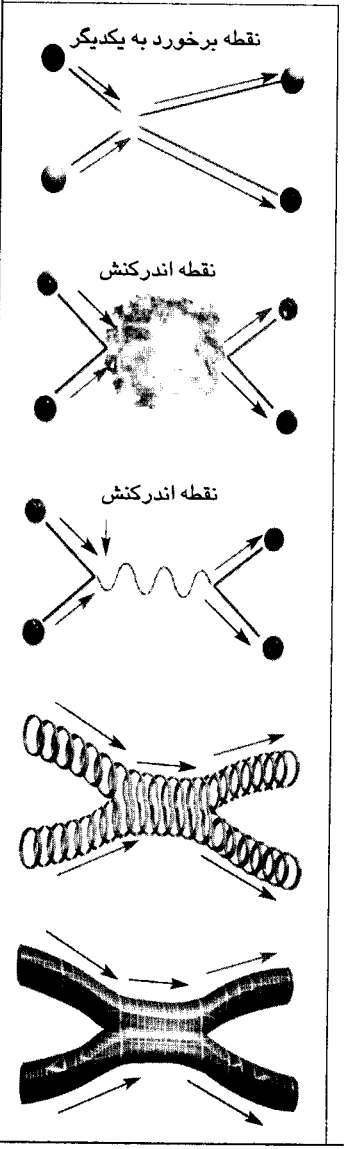
۱ ــ اگر ذرات نقطه‌ای، چونان گوی، به راستی عناصر گسسته‌ای باشند، آنگاه پس از برخورد دو ذره، مسیر آنها منحرف شده و در مسیر تازه‌ای حرکت می‌کنند.

۲ ــ با اندرکنش دو ذره، به‌نظر می‌رسد چنین چیزی رخ می‌دهد، هرچند تأثیر آن بسیار گسترده‌تر است.

۳ ــ نظریه میدان کوانتومی نشان می‌دهد که دو ذره مانند الکترون و پاد ذره آن پوزیترون، برخورد می‌کنند و بر اثر برخورد، این دو ذره در انفجار انرژی، خود را نابود می‌سازند و فوتونی پدیدار می‌شود. این فوتون نیز انرژیش را آزاد می‌سازد و یک جفت الکترون ــ پوزیترون به‌وجود می‌آورد. باز هم به نظر می‌رسد که آنها به دو مسیر تازه منحرف شده‌اند.

۴ ــ اگر ذرات نقطه‌ای نباشند و ریسمانهایی یک بعدی باشند که در آنها حلقه‌های نوسانگر چونان الکترون و پوزیترون در لرزش و ارتعاش‌اند، آنگاه در اثر برخورد و نابود ساختن یکدیگر، ریسمان نوینی به‌وجود می‌آورند که الگوهای لرزشی متفاوتی دارد. این ریسمان با آزاد ساختن انرژی، به دو ریسمان دیگر تقسیم می‌شود که در راستای دو مسیر تازه، امتداد می‌یابد.

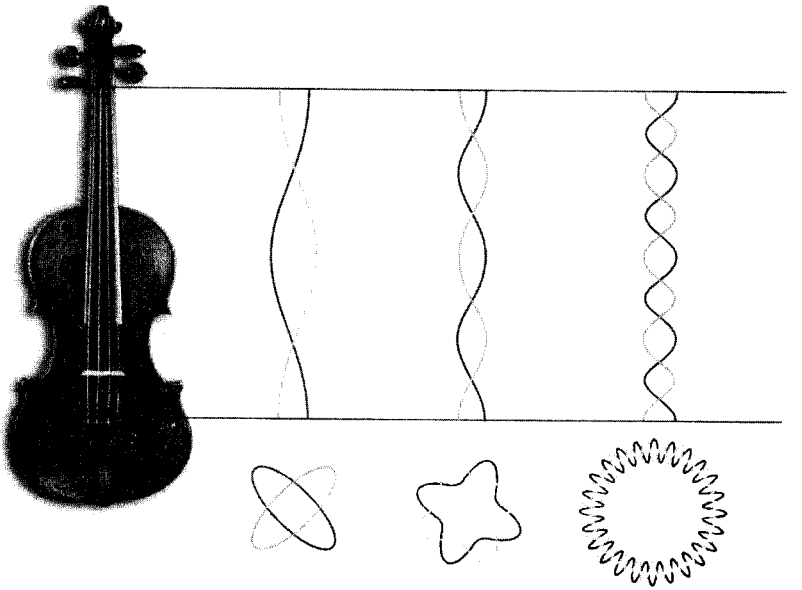
۵ ــ اگر دو ریسمان اولیه را نه همچون لحظه‌هایی گسسته بلکه چونان تاریخی پیوسته در زمان بنگریم، آنگاه ریسمانهای حاصل همچون یک رویه جهانی ریسمانی (string world sheet) به نظر خواهند رسید.



احتمال دارد که کمیتهای کوچکتر اما همچنان بی‌نهایت برجا مانده باشند. هیچ کس شکیبایی آن را نداشت که محاسبه نماید آیا این نظریه‌ها واقعاً یکسره متناهی و کرانمند هستند. حدس می‌زدند که دویست سال طول می‌کشد دانشجوی خوبی بتواند این محاسبه را انجام دهد؛ و چگونه می‌توان فهمید که او در صفحه دوم دچار خطا نشده است؟ تا سال ۱۹۸۵ هنوز کسان زیادی باور داشتند که بیشتر نظریه‌های ابرگرانشِ ابرمتقارن فارغ از بی‌نهایتها هستند. سپس ناگهان دیدگاه متداول تغییر کرد. اعلام شد که دلیلی در دست نیست که نظریه‌های ابرگرانش را فارغ از بی‌نهایتها بپنداریم، و این کاستی کشنده‌ای برای این نظریه‌ها به‌شمار می‌رفت. به جای آن، ادعا شد که نظریه‌ای به‌نام نظریه ریسمانیِ ابرمتقارن تنها راه درهم آمیختن گرانش و نظریه کوانتومی است. ریسمانها همان‌گونه که از نامشان برمی‌آید چیزهایی هستند که در یک بعد امتداد می‌یابند. آنها تنها دارای درازا می‌باشند. ریسمانها در نظریه ریسمانی در فضازمان زمینه حرکت می‌کنند. موجهای روی ریسمان چونان ذرات تفسیر می‌شوند (شکل ۲ ـ ۱۴).

اگر ریسمانها افزون بر ابعادِ عددیِ معمولیِ خود، دارای ابعاد گراسمان باشند، موجها، متناظرِ بوزون‌ها و فرمیون‌ها خواهند بود. بدین‌سان انرژی‌های تراز پایهٔ مثبت و منفی دقیقاً یکدیگر را حذف می‌کنند و دیگر هیچ بی‌نهایتی حتی از نوع کوچکتر برجای نخواهد ماند. چنان ادعا شد که ابرریسمانها «نظریه همه‌چیز» (TOE) می‌باشند.

در آینده، تاریخدانان علم به تصویر کشیدن فراز و فرود اندیشه را در میان فیزیکدانان نظری بامزه خواهند یافت. ریسمانها چند سالی فرمانروای برتر بودند و ابرگرانش چونان نظریه‌ای تقریبی که در انرژی کم



(شکل ۲ ـ ۱۴)

نوسانهای ریسمانی

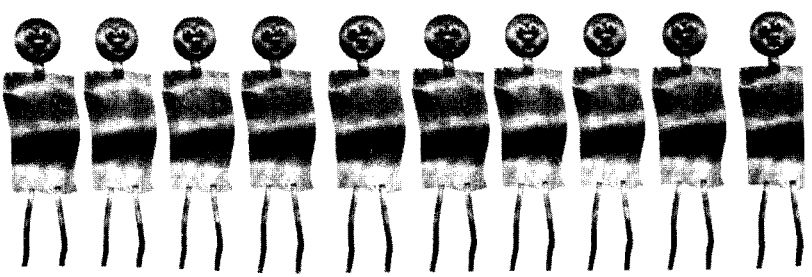
در نظریه ریسمانی، چیزهای بنیادین، به‌صورت ذره که نقطه‌ای را در فضا اشغال می‌کنند، نیستند، بلکه همچون ریسمانهای یک بعدی‌اند. این ریسمانها می‌توانند پایانی داشته باشند و یا به یکدیگر در حلقه‌های بسته‌ای بپیوندند.

ریسمانهای نظریه ریسمانی درست مانند سیمهای یک ویولن الگوهای معین ارتعاشی یا فرکانس‌های تشدید دارند که طول موجهای آن درست میان دو سرشان جا می‌گیرد.

فرکانسهای تشدیدِ گوناگونِ سیمهای ویولن، نتهای موسیقی گوناگون را پدید می‌آورد، حال آنکه نوسانهای مختلف ریسمان، جرمها و نیروی بارهای مختلف را موجب می‌گردد که چونان ذرات بنیادین تفسیر می‌شوند. تقریباً می‌توان گفت هرچه طول موج نوسان روی ریسمان کوتاهتر باشد، جرم ذره بیشتر است.

معتبر است، کنار نهاده شد. اگرچه در اینجا منظور از انرژی کم، انرژی ذراتی دارای یک میلیارد میلیارد برابر انرژی ذرات در انفجار تی ان تی (TNT) است، اما به هر حال اینکه نظریه‌ای را تنها در انرژی کم معتبر بدانیم، نوعی دشنام به‌شمار می‌رفت. اگر ابرگرانش تنها تقریبِ انرژی کم باشد، دیگر نمی‌تواند ادعا کند که نظریه بنیادین جهان است. به جای آن، گمان می‌رفت یکی از پنج نظریه احتمالی ابرریسمان، نظریه بنیادین باشد. اما کدام یک از پنج نظریه ریسمانی، جهان ما را توصیف می‌کند؟ و فراتر از تقریبی که بر پایه آن، ریسمانها چونان رویه‌هایی با یک بعد فضایی و یک بعد زمانی تصویر می‌شوند و در میان فضازمانِ زمینهٔ تخت، حرکت می‌کنند، نظریه ریسمانی را چگونه می‌توان فرمول‌بندی کرد؟ آیا ریسمانها فضازمان زمینه را دچار خمیدگی نخواهند کرد؟

در سالهای پس از ۱۹۸۵ ، رفته رفته دریافتند که نظریه ریسمانی تصویر کامل نیست. نخست روشن شد که ریسمانها تنها یک عضو دسته بزرگی از چیزها هستند که می‌توانند در بیش از یک بعد امتداد یابند. **پل**

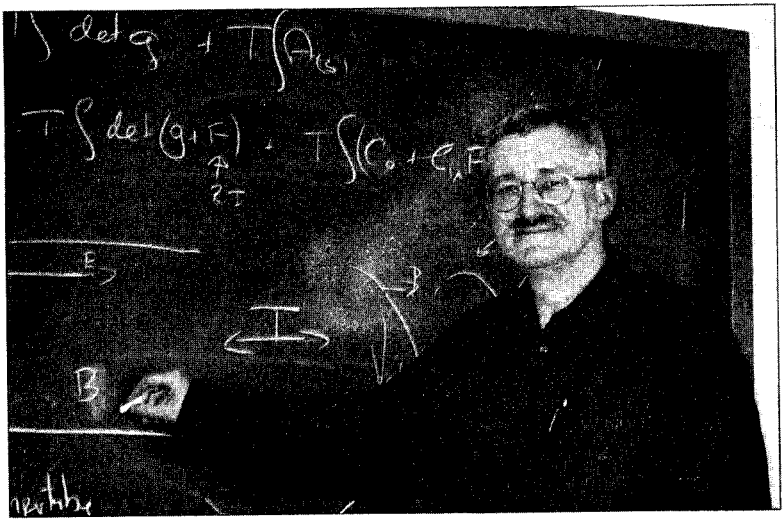


این حقایق را بدیهی فرض می‌کنیم: همه* P-brane *ها برابر افریده شده‌اند.

تاوزند (Paul Towsend) که همانند من عضو دپارتمان ریاضیات کاربردی و فیزیک نظری در کمبریج است، و بیشترین مطالعه روی این چیزها را انجام داده است، آنها را (P-branes) نامید. P-brane در P جهت طول دارد. از این‌رو P = 1 brane ریسمان است، P = 2 brane رویه یا پوسته است و همانند آن (شکل ۲ ـ ۱۵). به نظر می‌رسد دلیلی وجود ندارد که ریسمان P = 1 را بر دیگر مقادیر P برتر بشماریم. به جای آن باید اصل دموکراسی P-brane را اتخاذ کنیم: همه P-brane ها برابر آفریده شده‌اند.

همه P-brane ها را می‌توان چونان پاسخ معادلات نظریه‌های ابرگرانش در ۱۰ یا ۱۱ بعد پذیرفت. هرچند ۱۰ یا ۱۱ بُعد، چندان مانند فضازمانی که می‌بینیم نیست، اما پنداشته می‌شد که ۶ یا ۷ بُعدِ دیگر، آنچنان درهم پیچیده و کوچک شده‌اند که دیگر آنها را مشاهده نمی‌کنیم، ما تنها از ۴ بُعدِ بزرگ و کم و بیش تخت آگاهی داریم.

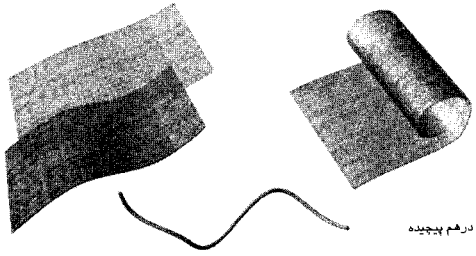
باید بگویم که شخصاً از پذیرفتنِ ابعادِ اضافی ناخشنود بودم. اما از آنجا که اثبات‌گرا هستم، پرسش «آیا ابعاد اضافی به راستی وجود دارند؟» را بی‌معنا می‌دانم. آنچه می‌توان پرسید آن است که آیا مدلهای ریاضی با ابعاد اضافی توصیف خوبی از جهان به دست می‌دهند. ما هنوز هیچ مشاهداتی که برای توضیح آنها به ابعاد اضافی نیاز باشد، نداشته‌ایم. با این همه احتمال دارد که آنها را در برخورددهنده بزرگ هادرون (Hadron) در ژنو مشاهده نماییم. اما چیزی که بسیاری کسان، و از آن میان، من را متقاعد ساخته است که باید مدلهای دارای ابعاد اضافی را جدی گرفت، آن است که شبکه‌ای از روابط نامنتظره به‌نام دوگانگی میان مدلها وجود دارد. این دوگانگیها نشان می‌دهند که مدلها همگی در بنیاد



پاول تاوزند، چهره برجسته P-branes

یک رویه branes–۲ که در یک چنبره در هم پیچیده است.

یک brane–۱ یا ریسمان درهم پیچیده



ساختار فضایی جهان ما ممکن است هم ابعاد گسترده داشته باشد و هم ابعاد درهم پیچیده .اگر پوسته‌ها (membrane) در هم پیچیده شوند، آنها را بهتر میتوان دید

(شکل ۲ ــ ۱۵) *P-BRANES*

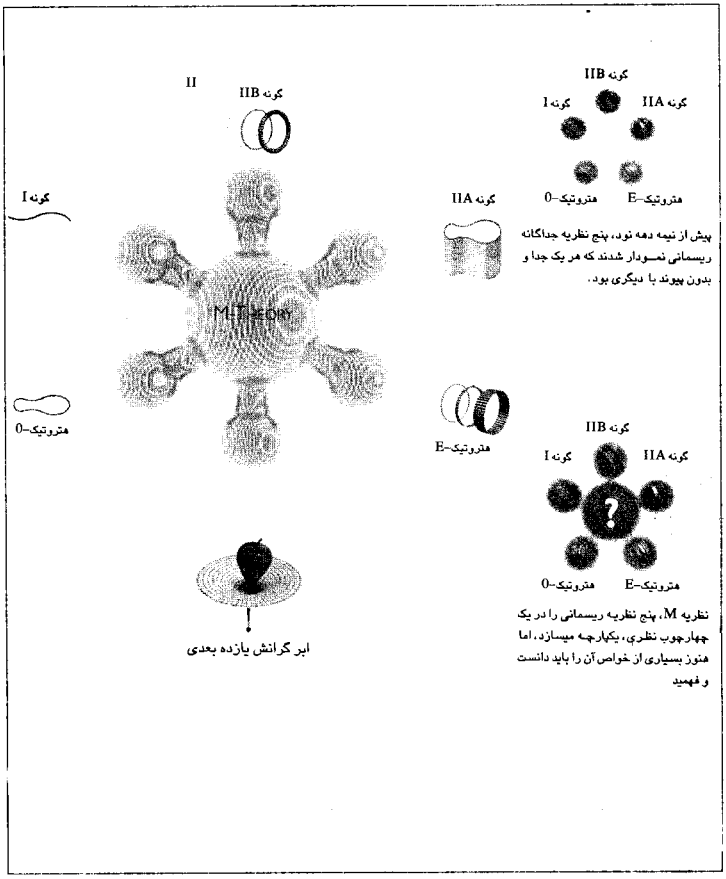
P-brane ها چیزهایی هستند که در P بعد امتداد می‌یابند. حالت خاص آن ریسمانها هستند با P = ۱ و پوسته‌ها با P = ۲ ، اما مقادیر بالاتر P در فضازمان ده یا یازده بعدی امکانپذیر است. اغلب، برخی یا همه P بعد در چنبره‌ای در هم پیچیده می‌شوند.

هم‌ارزند، یعنی آنها جنبه‌های مختلف نظریه بنیادینی هستند که آن را نظریه اِم (M theory) نام نهاده‌اند. اینکه این شبکه دوگانگیها را همچون نشانهٔ درستیِ راهمان نپذیریم، مانند آن است که بپنداریم خداوند سنگواره‌ها را درون سنگها گذاشت تا **داروین** را در جستجوی تکامل زندگی دچارگمراهی سازد.

این دوگانگیها نشان می‌دهند که پنج نظریه ابرریسمان، همگی فیزیک یکسانی را توصیف می‌کنند و از نظر فیزیکی هم‌ارز ابرگرانش هستند (شکل ۲ ــ ۱۶). نمی‌توان گفت ابرریسمانها از ابرگرانش بنیادی‌ترند یا برعکس. بلکه آنها بیانهای گونه‌گون از یک نظریه بنیادین یکسان هستند و هر یک برای محاسبات در انواع مختلف شرایط سودمند می‌باشند. از آنجاکه نظریه‌های ریسمانی هیچ بی‌نهایتی ندارند، به خوبی می‌توانند هنگامی که چند ذره پرانرژی به هم برخورد می‌کنند و یکدیگر را پراکنده می‌سازند، رویدادها را محاسبه نمایند. هرچند آنها برای توصیف خمیدگی جهان یا حالتی مرزی ــ مانند سیاهچاله ــ که با انرژی شمار بسیار بزرگی از ذرات پدید آمده است، چندان به درد نمی‌خورند.

برای این وضعیتها، به ابرگرانش نیاز داریم که در بنیاد، نظریه فضازمان خمیده آینشتین است با چند نوع ماده اضافی. این همان تصویری است که من در دنباله این نوشته عمدتاً به‌کار خواهم برد.

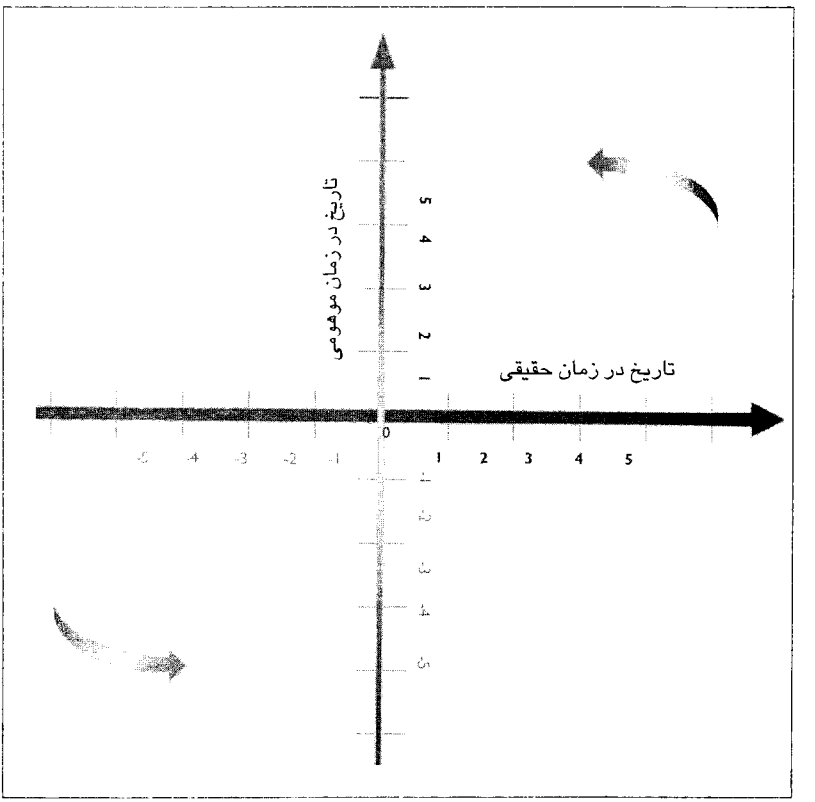
برای اینکه توصیف کنیم چگونه نظریه کوانتومی، زمان و فضا را شکل می‌بخشد، معرفی مفهوم زمان موهومی کارساز است. زمان موهومی داستانهای علمی تخیلی را تداعی می‌کند، اما مفهوم ریاضی کاملاً تعریف شده‌ایست: زمانی که برحسب اعداد موهومی اندازه‌گیری شود. اعداد حقیقی معمولی همچون ۱، ۲، ۳/۵ ــ و همانند



(شکل ۲ ــ ۱۶) یک چهارچوب یکپارچه؟

شبکه‌ای از پیوندها که دوگانگیها نام گرفته‌اند، وجود دارد که پنج نظریه ریسمانی و نیز ابرگرانش یازده بعدی را به هم می‌پیوندد. دوگانگیها پیشنهاد می‌کنند که نظریه‌های مختلف ریسمانی، تنها نمایش و بیان مختلفی از یک نظریه بنیادی یکسان ــ که نظریه اِم نام گرفته ــ می‌باشند.

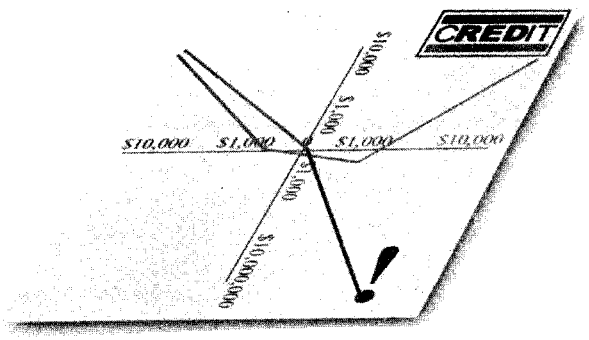
آن را متناظر با نقطه‌هایی روی خطی که از چپ به راست کشیده شده، می‌توان تصور کرد: صفر در میان خط، اعداد حقیقی مثبت در راست و اعداد حقیقی منفی در چپ (شکل ۲ ـ ۱۷).



(شکل ۲ ـ ۱۷)

می‌توان مدل ریاضی‌ای ساخت که در آن جهت زمان موهومی، عمود بر زمان حقیقی باشد. این مدل قوانینی دارد که تاریخ در زمان موهومی را برحسب تاریخ در زمان حقیقی و برعکس معین می‌کند.

آن‌گاه اعداد موهومی را می‌توان با نقاطی روی خطی عمودی نشان داد: صفر، دوباره در میان، اعداد موهومی مثبت به سوی بالا و اعداد موهومی منفی به سوی پایین. به این روش، اعداد موهومی را می‌توان گونه نوینی از اعداد با زاویه قائمه نسبت به اعداد حقیقی معمولی تصور کرد. اعداد موهومی نیازی به تحقق فیزیکی ندارند زیرا سازه‌ای ریاضی هستند؛ نمی‌توان به تعداد اعداد موهومی، پرتقال داشت یا صورتحساب کارت اعتباری با اعداد موهومی دریافت کرد (شکل ۲ ـ ۱۸).



(شکل ۲ ـ ۱۸)

اعداد موهومی ساختار ریاضی هستند. نمی‌توان صورتحساب کارت اعتباری برحسب اعداد موهومی تهیه کرد.

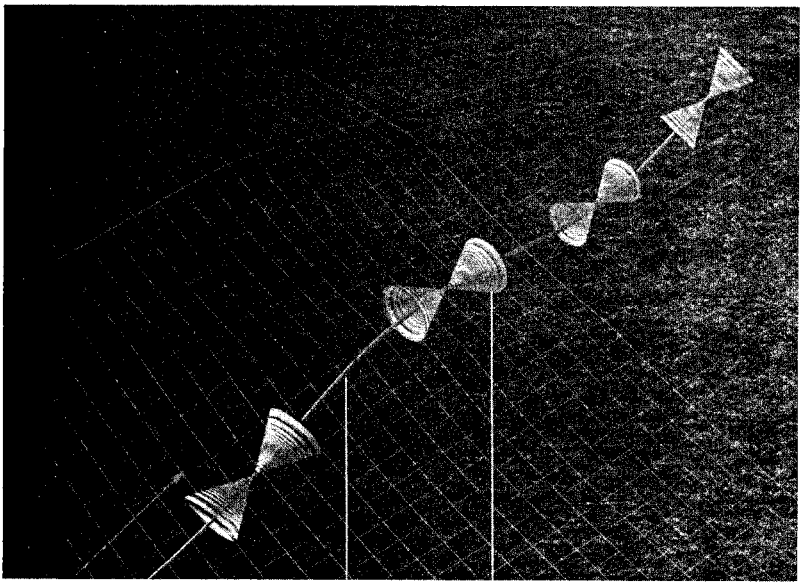
شاید کسی بیندیشد که اعداد موهومی بازی ریاضی هستند و کاری با جهان حقیقی ندارند. اما از نقطه‌نظر فلسفه اثبات‌گرا، نمی‌توان تعیین کرد که چه چیز حقیقی است. تنها می‌توان دریافت که کدام مدل

ریاضی، جهانی را که در آن زندگی می‌کنیم توصیف می‌کند. آشکار می‌شود که مدلهای ریاضی که با زمان موهومی سر و کار دارند نه‌تنها اثرهایی را که پیشتر مشاهده کرده‌ایم، بلکه اثرهایی را که هنوز نتوانسته‌ایم مشاهده کنیم، ولی به دلایلی به آنها باور داریم، نیز پیش‌بینی می‌کنند. پس چه چیز حقیقی و چه چیز موهومی است؟ آیا تمایز میان این دو تنها در ذهنهای ما یافت می‌شود؟

نظریه کلاسیکِ (یعنی ناکوانتومی) نسبیت عام آینشتین، زمان حقیقی را با سه بعد فضا در فضا زمان چهاربعدی درهم آمیخت. اما جهت زمان حقیقی از سه جهت فضایی متمایز بود؛ خط جهانی یا تاریخ بیننده همواره در جهتِ زمانِ حقیقی افزایش می‌یافت (یعنی زمان همواره از گذشته به سوی آینده حرکت می‌کرد)، اما در هر یک از جهات سه‌گانهٔ فضایی می‌توانست ***افزایش*** یا ***کاهش*** یابد. به دیگر سخن در فضا می‌توان جهت را وارونه کرد اما در زمان نه (شکل ۲ ـ ۱۹).

از سوی دیگر زمان موهومی به دلیل عمود بودن بر زمان حقیقی، مانند جهت فضایی چهارم رفتار می‌کند. از این‌رو می‌تواند، نسبت به خط‌سیر راه‌آهن مانند زمان حقیقی عادی، که تنها آغاز یا انجامی دارد یا دایره‌وار حرکت می‌کند، گستره بسیار پرمایه‌تری از امکانات را دارا باشد. زمان در این مفهوم موهومی، دارای ریخت است.

برای نشان دادن برخی از امکانات، فضازمانی، با زمان موهومی در نظر بگیرید که همچون سطح کره‌زمین، گوی‌مانند است. فرض کنید زمان موهومی درجه‌های عرض جغرافیایی‌اند (شکل ۲ ـ ۲۰). آنگاه تاریخ جهان در زمان موهومی در قطب جنوب آغاز می‌شود. بی‌معناست اگر بپرسیم، «پیش از آغاز چه روی داد؟» چنین زمانهایی اصلاً تعریف



مخروطهای نوری تاریخ ناظر جهت زمان

(شکل ۲ ــ ۱۹)

در زمان حقیقی فضازمان نسبیت عام کلاسیک، زمان از فضا متمایز است زیرا تنها در راستای تاریخ ناظر افزایش می‌یابد، برعکس جهتهای فضا که می‌توانند در راستای آن تاریخ افزایش یا کاهش یابند. از سوی دیگر جهت زمان موهومی نظریه کوانتومی، به مانند یک جهت فضایی دیگر است و می‌تواند افزایش یا کاهش یابد.

نشده‌اند، همچنان که در جنوبِ قطبِ جنوب، نقطه‌ای وجود ندارد. قطبِ جنوب یک نقطه کاملاً معمولی سطح زمین است و قوانین یکسانی بر آن نقطه و دیگر نقاط فرمان می‌راند. این امر پیشنهاد می‌کند که آغاز جهان در زمان موهومی می‌تواند یک نقطه معمولی فضازمان باشد و

قوانین یکسانی در آغاز جهان و دیگر زمانها می‌تواند فرمان براند. (پیرامون سرچشمه و تکامل کوانتومی جهان در بخش بعد گفتگو خواهیم کرد).

زمان موهومی به‌عنوان درجه‌های طول جغرافیایی
که در قطب شمال و جنوب یکدیگر را قطع میکنند

(شکل ۲ ــ ۲۰) *زمان موهومی*

در فضازمان موهومی که به شکل گوی است، جهت زمان موهومی می‌تواند نشانگر فاصله از قطب جنوب باشد. چون به‌سوی شمال حرکت کنیم، دایره‌های عرض جغرافیایی در فاصله‌های ثابت از قطب جنوب، بزرگتر می‌شوند که متناظر است با گسترش جهان در زمان موهومی. جهان در استوا به اندازه بیشینه می‌رسد و سپس دوباره با افزایش زمان موهومی منقبض می‌شود تا در قطب شمال به اندازه یک نقطه شود. هرچند اندازه جهان در قطبها صفر است، اما این نقاط تکینگی به‌شمار نمی‌روند و مانند قطبهای شمال و جنوب روی سطح زمین، نقطه‌هایی یکسره عادی می‌باشند. این بدان معناست که سرچشمه جهان در زمان موهومی می‌تواند نقطه‌ای عادی در فضازمان باشد.

یک رفتار محتمل دیگر عبارت است از فرض زمان موهومی به‌عنوان درجه‌های طول جغرافیایی کره‌زمین. همه خطوط طولی در قطبهای شمال و جنوب به یکدیگر می‌رسند (شکل ۲ ـ ۲۱). از این‌رو زمان ساکن است، یعنی افزایش در زمان موهومی یا افزایش درجه‌های طول جغرافیایی، ما را به همان نقطه می‌رساند. این بسیار مانند زمان واقعی است که در افق سیاهچاله، ساکن به نظر می‌رسد. ما به این شناخت رسیده‌ایم که این سکون زمان حقیقی و موهومی (یا هر دو ساکن‌اند یا هیچ یک نیستند) بدان معناست که فضازمان دارای دماست، همان‌گونه که من برای سیاهچاله‌ها کشف کردم. سیاهچاله نه‌تنها دارای دما هست، بلکه چنان رفتار می‌کند که گویا کمیتی به‌نام انتروپی را هم دارد. انتروپی سنجه‌ای از تعداد حالتهای درونی است (راههایی که می‌توان درونش را پیکربندی کرد) که سیاهچاله می‌تواند داشته باشد بدون آنکه برای ناظر بیرونی که تنها می‌تواند جرم، چرخش و بار آن را مشاهده کند، متفاوت به نظر برسد. انتروپی سیاهچاله با فرمول بسیار ساده‌ای که من در سال ۱۹۷۴ کشف کردم به دست می‌آید و برابر است با مساحت افق سیاهچاله: برای هر واحد بنیادین مساحت افق، یک بیت اطلاعات درباره حالت درونی سیاهچاله وجود دارد. این نشان می‌دهد که پیوند ژرفی میان گرانش کوانتومی و ترمودینامیک، دانش گرما (که بررسی انتروپی را دربر می‌گیرد) وجود دارد. همچنین بیانگر آن است که گرانش کوانتومی ممکن است آنچه را هولوگرافی نام دارد، نمایش دهد (شکل ۲ ـ ۲۲).

شاید اطلاعات حالتهای کوانتومی در ناحیه‌ای از فضازمان، در مرز ناحیه‌ای که نسبت به ناحیه‌های دیگر، دو بعد کمتر دارد، به گونه‌ای رمزگذاری شده باشد. این همچون هالوگرامی است که تصویری سه‌بعدی را روی رویه دوبعدی منتقل می‌کند. اگر گرانش کوانتومی

زمان موهومی به‌عنوان درجه‌های عرض جغرافیایی

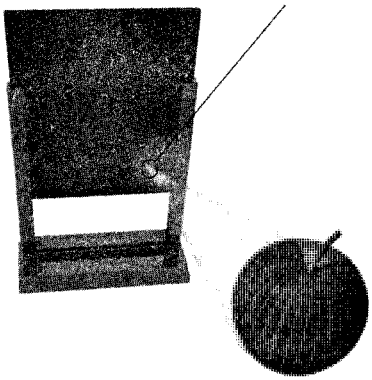
(شکل ۲ ــ ۲۱)
جهت زمان موهومی در یک فضازمان گوی‌مانند، می‌تواند متناظر با درجه‌های طول جغرافیایی باشد. زمان در قطبها به حال سکون درمی‌آید زیرا همه خطوط طول جغرافیایی در قطبهایی شمال و جنوب یکدیگر را قطع می‌کنند؛ افزایش زمان موهومی انسان را در همان نقطه قبلی قرار می‌دهد، درست مانند آنکه در قطب شمال به‌سوی غرب برویم، در این صورت باز هم در قطب شمال خواهیم بود.

فرمول مساحت برای انتروپی ــ یا تعداد حالتهای درونی ــ یک سیاهچاله پیشنهاد می‌کند که اطلاعات درباره آنچه به درون سیاهچاله فرو می‌ریزد می‌تواند مانند اطلاعات روی یک صفحه موسیقی نگهداری و ذخیره شود و با بخار شدن سیاهچاله، این اطلاعات بازیابی می‌شود.

$$S = \frac{Ak c^3}{4 \hbar G}$$

فرمول انتروپی سیاهچاله

A	مساحت افق رویداد سیاهچاله‌ها
$\hbar$	ثابت پلانک
k	ثابت بولترمان
G	ثابت گرانشی نیوتن
c	سرعت نور
S	انتروپی

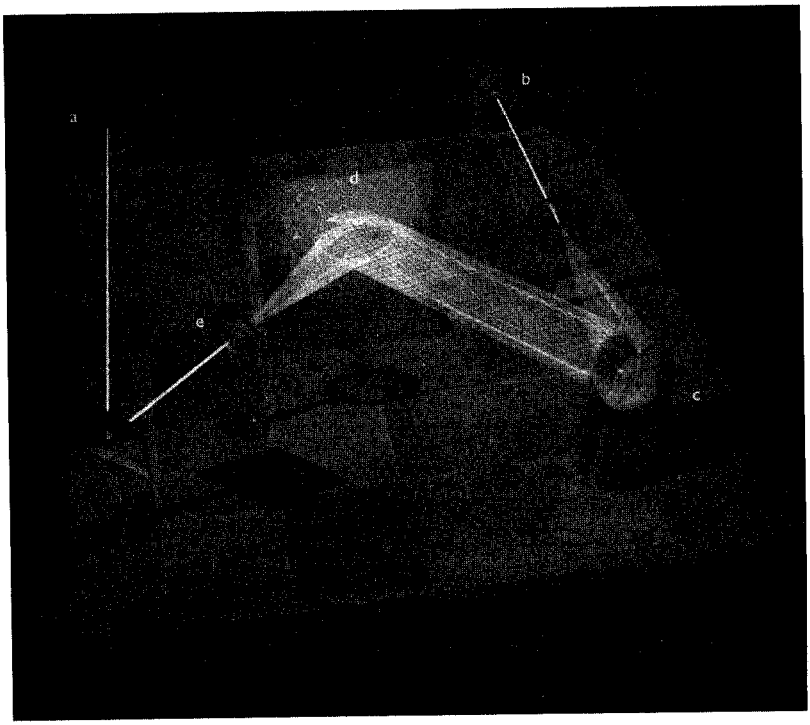


حتی یک جزء کوچک یک صفحه هالوگرافیک دو بعدی، اطلاعات کافی برای بازسازی تصویری سه بعدی از یک سیب را دارا می‌باشد.

اصل هالوگرافیک

دانستن اینکه مساحت سطح افق گرداگرد یک سیاهچاله، انتروپی آن را اندازه می‌گیرد، مردمان را هوادار آن کرده است که انتروپی بیشینه هر ناحیه بسته‌ای از فضا، هرگز نمی‌تواند از یک چهارم مساحت سطح در برگیرنده آن بیشتر باشد. اینکه انتروپی چیزی بیش از اندازه کلِ اطلاعات موجود در یک سیستم نیست، پیشنهاد می‌کند که اطلاعات مربوط به همه پدیده‌های یک جهان سه بعدی را می‌توان مانند یک تصویر هالوگرافیک در مرز و کرانه دو بعدی آن ذخیره کرد. به یک معنا جهان دو بعدی خواهد بود.

اصل هالوگرافی را دربر بگیرد، شاید بتوانیم آنچه را درون سیاهچاله می‌گذرد، ردیابی کنیم. اگر قرار است بتوانیم تابشی را که از سیاهچاله‌ها بیرون می‌آید، پیش‌بینی نماییم، این ردیابی از اهمیت اساسی برخوردار است. اگر نتوانیم، آنگاه قادر نخواهیم بود آینده را آنچنان که می‌پنداشتیم، کامل پیش‌بینی نماییم. به این موضوع در بخش ۴ خواهیم پرداخت. درباره هالوگرافی دوباره در بخش ۷ سخن خواهیم گفت. شاید ما روی یک ۳-brane زندگی می‌کنیم؛ یک رویه چهاربعدی (سه فضا و یک زمان)، که مرز ناحیه‌ای پنج‌بعدی است، و بقیه بعدها درهم پیچیده و بسیار کوچک شده‌اند. حالت جهان روی یک پوسته (brane)، آنچه را در ناحیه پنج‌بعدی رخ می‌دهد، رمزگذاری می‌کند.



(شکل ۲ ــ ۲۲)

هالوگرافی اساساً پدیده تداخل الگوهای موجی است. اگر نور یک لیزر تک، به دو پرتو جداگانه تقسیم شود (a) و (b) ، هالوگرام‌ها آفریده می‌شوند. یکی از آن دو روی چیزی (c) می‌افتد و از آن به صفحه حساس به نور (d) می‌رسد. دیگری (a) از عدسی (e) گذشته و با نور بازتاب یافته (b) برخورد می‌کند و یک الگوی تداخلی روی صفحه ایجاد می‌نماید.

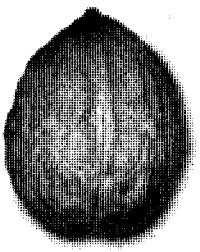
چنانچه صفحه را ظاهر کرده و لیزری به آن بتابانیم، تصویر کاملاً سه بعدی چیز اصلی نمایان می‌شود. ناظر می‌تواند پیرامون این تصویر هالوگرافیک حرکت کند و همه وجوه پنهانی را که یک عکس معمولی نمی‌تواند نشان دهد، ببیند.

سطح دو بعدی صفحه، برخلاف یک عکس معمولی، این قابلیت جالب را داراست که هر جزء کوچک سطح آن، همه اطلاعات لازم برای بازسازی تصویر کامل را در بردارد.

بخش سوم

جهان در پوست گردو

جهان تاریخهای چندگانه دارد که هر یک با گردوی کوچکی مشخص می‌شود



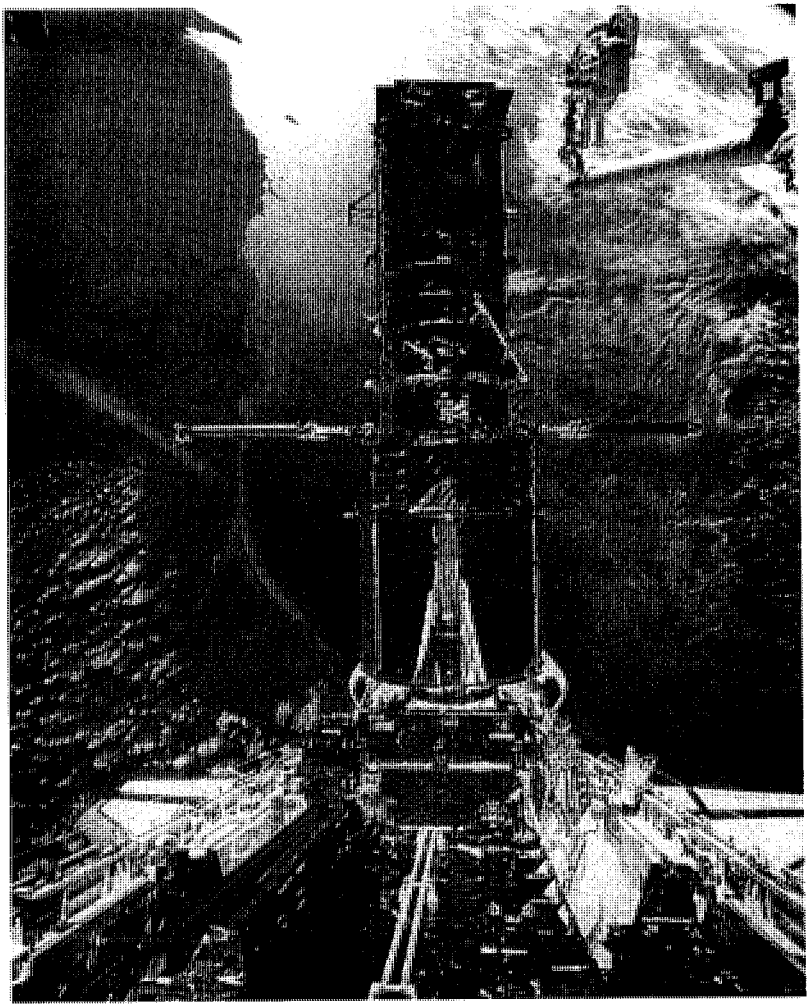
می‌توانم در پوست گردویی زندانی باشم
و باز خود را پادشاه فضای بیکرانه بینگارم
شکسپیر
هملت، پرده دوم، صحنه دوم

هملت شاید می‌خواسته بگوید که اگرچه ما انسانها از نظر فیزیکی بسیار محدود می‌باشیم ولی ذهن ما می‌تواند آزادانه همه گیتی را درنوردد و گستاخانه به جاهایی برود که حتی قهرمانان داستانهای ***پیشتازان فضا***[1] از پا گذاشتن به آن بیمناک‌اند، جاهایی که تنها در خوابهای آشفته سراغشان را می‌شود گرفت.

آیا جهان واقعاً بیکرانه است یا صرفاً بسیار بزرگ است؟ آیا جاودانه است یا تنها زندگی درازی دارد؟ چگونه ذهنهای محدود ما می‌توانند جهان بیکرانه را درک کند؟ آیا حتی تلاش برای رسیدن به این ادراک،

---

۱. مجموعه تلویزیونی بسیار پربیننده Star Trek از سالها پیش تهیه و پخش می‌شود و در گذشته به نام پیشتازان فضا در ایران نمایش داده می‌شد (مترجم).



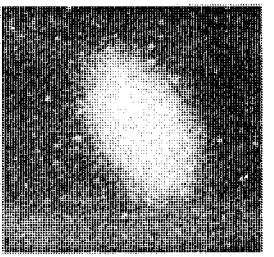
عدسی و آینه‌های تلسکوپ فضایی هابل در یک مأموریت فضایی شاتل بهبود می‌یابند. در پایین استرالیا دیده می‌شود.

گستاخانه نیست؟ آیا به این ترتیب به سرنوشتی همچون پرومته ــ که در اسطوره کلاسیک آتش را از زئوس ربود و به آدمیان داد و به سزای این گستاخی، بر فراز صخره‌ای به زنجیر کشیده شد و عقابی بر جگرش نوک می‌زد ــ دچار نخواهیم شد؟

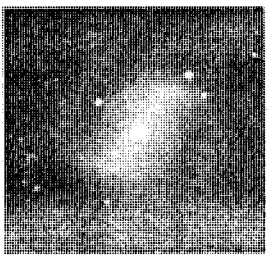
پرومته ــ نقاشی روی ظرف اتروسکان (Etruscan) سده ششم پیش از میلاد.

به رغم این افسانه هشداردهنده، به باور من می‌توانیم و باید برای فهم جهان بکوشیم. ما پیشرفت چشمگیری در فهم گیتی به‌ویژه در چند سال گذشته کرده‌ایم و هرچند تصویری کامل در دست نداریم اما شاید خیلی دور از دسترس نباشد.

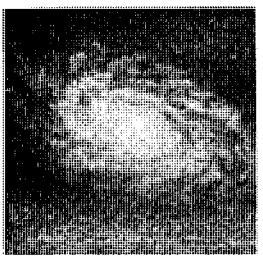
آشکارترین چیز درباره فضا آن است که هرچه در آن جلو برویم باز هم ادامه دارد. ابزارهای نوین همچون تلسکوپ هابل که ژرفای فضا را می‌کاود، این امر را تأیید کرده‌اند. ما میلیاردها میلیارد کهکشان با شکلها و اندازه‌های گوناگون را مشاهده می‌کنیم (شکل ۳ ــ ۱ را ببینید). هر کهکشان میلیاردها ستاره ناشمرده دربر دارد که برگرد بسیاری از آنها سیاره‌ها درگردش‌اند. ما بر سیاره‌ای زندگی می‌کنیم که برگرد ستاره‌ای در بازوی بیرونی کهکشان مارپیچ راه شیری می‌گردد. غبار موجود در بازوهای مارپیچ جلو دید ما را از جهان در صفحهٔ کهکشان می‌گیرد، اما خط دید روشنی در مخروط‌های هر طرف صفحه داریم و می‌توانیم



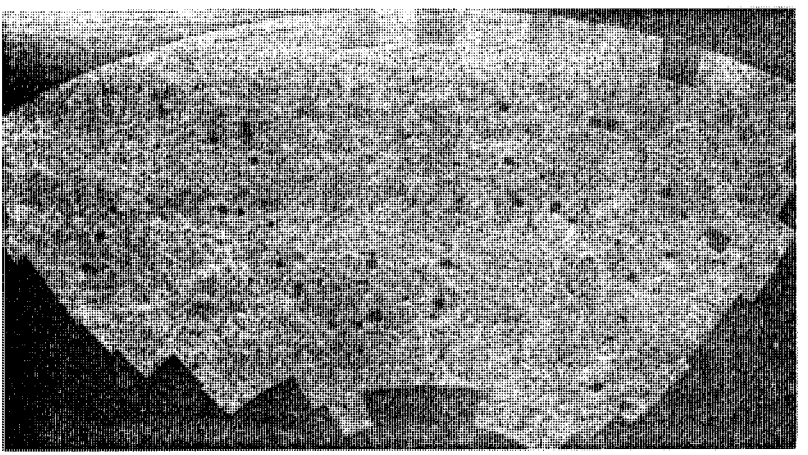
کهکشان بیضوی NGC147



کهکشان میله مارپیچ NGC4314



کهکشان مارپیچ NGC4414



(شکل ۳ ــ ۱)

هنگامی که به ژرفای جهان می‌نگریم، میلیاردها میلیارد کهکشان را می‌بینیم. کهکشانها شکلها و اندازه‌های گوناگونی دارند؛ آنها یا بیضوی‌اند یا مانند کهکشان راه شیری خودمان مارپیچ‌اند.

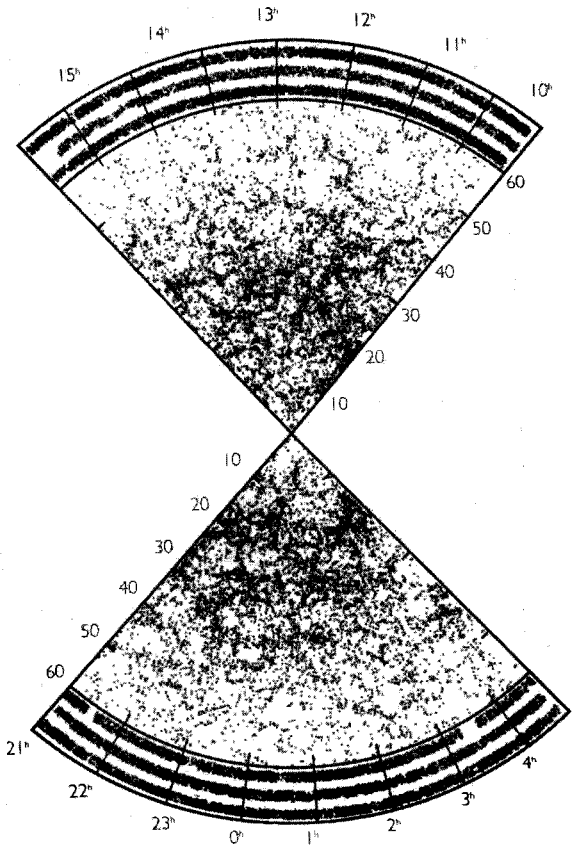
موقعیت کهکشانهای دوردست را رسم کنیم (شکل ۳ ـ ۲). درمی‌یابیم که کهکشانها کمابیش به گونه‌ای یکنواخت در فضا توزیع شده‌اند؛ در برخی جاها به‌طور موضعی تمرکز یافته‌اند و در بعضی محلها فضای تهی یافت می‌شود. چگالی کهکشانها در فاصله‌های بسیار دور کاهش می‌یابد، اما به نظر می‌رسد به دلیل دوری بسیار زیاد محو و تیره نمایان می‌شوند و ما قادر به تشخیص آنها نیستیم. تا آنجا که ما می‌توانیم بگوییم، جهان برای همیشه در فضا امتداد می‌یابد (شکل ۳ ـ ۳).

اگرچه جهان در هر نقطه از فضا بسیار یکسان به نظر می‌رسد، اما به‌طور قطع در طول زمان دگرگون می‌شود. تا سالهای نخستین سده بیستم

(شکل ۳ ـ ۲)

سیاره ما زمین در ناحیه بیرونی کهکشان مارپیچی راه شیری به گرد خورشید حرکت می‌کند. غبار ستاره‌ای در بازوهای مارپیچ جلو دید ما را در صفحه کهکشان می‌گیرد، اما به هر طرف صفحه کهکشان دید روشنی داریم.

به این امر پی نبرده بودند، و می‌پنداشتند که جهان اساساً در طول زمان ثابت است. شاید جهان از ازل وجود داشته باشد اما به نظر می‌رسید این



(شکل ۳ ــ ۳)

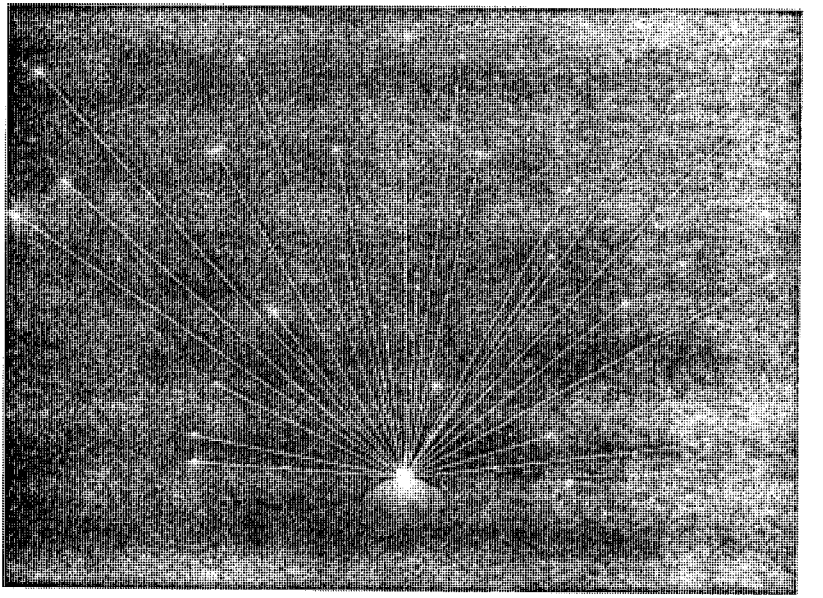
درمی‌یابیم که کهکشانها بجز برخی جاها که در آنها تمرکزهای محلی دیده می‌شود، به گونه‌ای تقریباً یکنواخت در سراسر فضا توزیع شده‌اند.

فرض، نتایج پوچ و باطلی دربر داشت. اگر ستارگان برای زمانی نامحدود در حال تابش بوده باشند، جهان داغ می‌شد و دمای آن به دمای ستارگان می‌رسید. حتی شبها همه آسمان همچون خورشید می‌درخشید زیرا هر خط دید یا به ستاره‌ای، یا به ابری از غبار که همچون یک ستاره داغ شده بود، می‌رسید (شکل ۳ ـ ۴).

اینکه آسمان شبانگاهی تاریک است و همه ما هم آن را مشاهده کرده‌ایم، بسیار بااهمیت می‌باشد و مدلل می‌دارد که جهان نمی‌تواند از ازل در همین حالتی که امروز می‌بینیم، بوده باشد. درگذشته باید چیزی رخ داده باشد که در زمانی معین موجب درخشیدن ستاره‌ها شده باشد. این بدان معناست که نور از ستارگان بسیار دوردست، هنوز فرصت رسیدن به ما را نیافته است. به این ترتیب روشن می‌شود چرا آسمان شبانگاهی از هر سو نمی‌درخشد.

اگر ستارگان از ازل وجود داشته‌اند چرا به ناگاه چند میلیارد سال پیش درخشیدن آغاز کردند؟ چه زمان‌سنجی، هنگام آغاز درخشیدن را به ستارگان اعلام کرد؟ همان‌گونه که دیدیم فیلسوفانی چون **امانوئل کانت** که جهان را ازلی می‌پنداشتند، از این امر دچار شگفتی شدند. اما برای بیشتر مردمان این امر همساز با این پنداشت بود که تنها چند هزار سال پیش جهان در وضعیتی بسیار همانند وضعیت کنونی، آفریده شد.

با این همه در دهه دوم سده بیستم، مشاهدات **وستو اسلیفر** (Vesto Slipher) و **ادوین هابل** (Edwin Hubble) آغاز پدیدار شدن ناهمسازیها با این پنداشت بود. در سال ۱۹۲۳ ، هابل کشف کرد که بسیاری از نقاط دارای نور ضعیف، به‌نام سحابی، در حقیقت

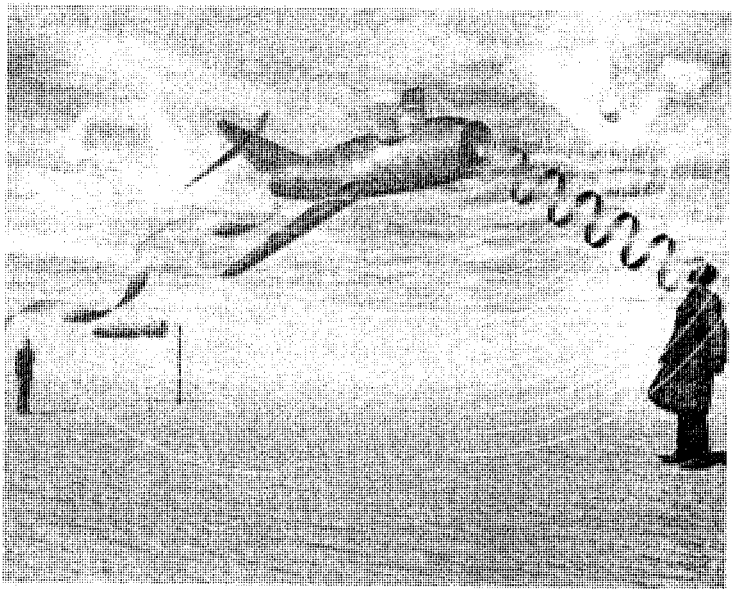


(شکل ۳ ـ ۴)

اگر جهان ایستا و از هر سو بی‌کران بود، هر خط دید به ستاره‌ای منتهی می‌شد و موجب می‌گردید آسمان شب همچون خورشید درخشان شود.

کهکشانهایی دیگر، و مجموعه‌ای از ستارگان چون خورشید، ولی در دوردست می‌باشند. علت آنکه چنین کم‌سو و کوچک پدیدار می‌شوند فاصله بسیار زیادشان است و میلیونها یا حتی میلیاردها سال طول می‌کشد که نورشان به ما برسد. این نشان می‌داد که آغاز جهان نمی‌توانست تنها چند هزار سال پیش باشد.

اما دومین چیزی که هابل کشف کرد، حتی از آن قابل توجه‌تر بود.

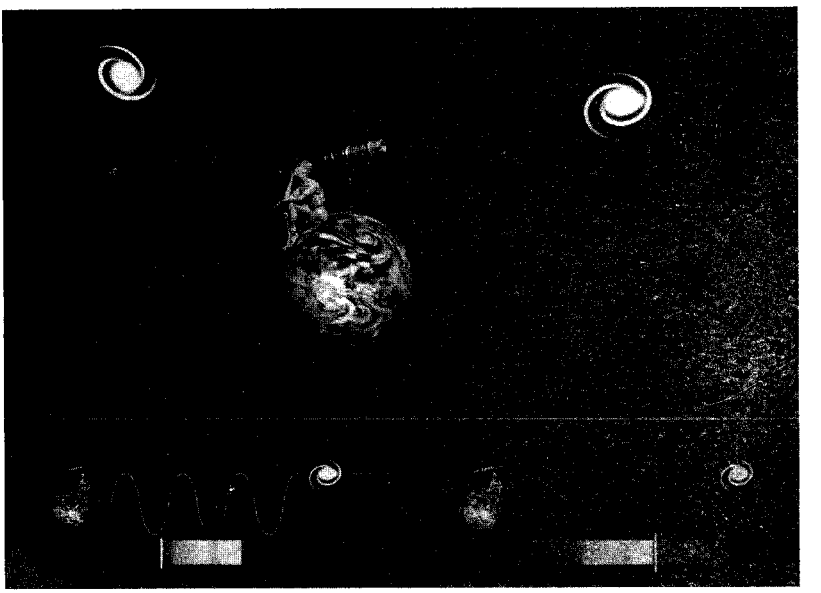


اثر دوپلر

رابطه میان سرعت و طول موج که اثر دوپلر (Doppler) نام دارد، یک تجربه روزانه است. به هواپیمایی که بر فراز ما پرواز می‌کند گوش کنید؛ صدای موتورش را چون نزدیک می‌شود با گام بیشتر و چون دور می‌شود با گام کمتر می‌شنویم.

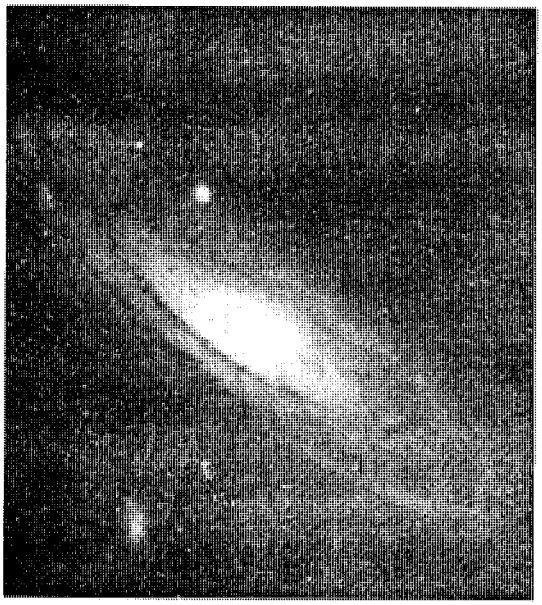
گام بیشتر متناظر است با امواج صدا با طول موج کوتاه‌تر (طول موج فاصله میان دو قله موج است) و فرکانس بیشتر (فرکانس شمار موجها در ثانیه است). هنگامی که هواپیما به سوی شما در حرکت است، در زمان گسیل قله بعدی موج، هواپیما به شما نزدیکتر است و فاصله میان قله‌های موج کاهش می‌یابد. همانند آن، هنگامی که هواپیما دور می‌شود، طول موجها افزایش می‌یابد و گامی که می‌شنوید کمتر است.

اخترشناسان دریافته بودند که با تجزیه و تحلیل نور دیگر کهکشانها، می‌توان فهمید که آنها به سوی ما در حرکت‌اند یا از ما دور می‌شوند (شکل ۳ ـ ۵). آنان با شگفتی بسیار دریافته بودند که تقریباً همه کهکشانها در حال دور شدن از ما هستند. افزون بر آن، هرچند فاصله آنها از ما زیادتر است با سرعت بیشتری از ما دور می‌شوند. این هابل بود که



(شکل ۳ ـ ۵)

اثر دوپلر در مورد امواج نور نیز صادق است. اگر کهکشانی در فاصله ثابتی از زمین قرار گیرد، خطوط مشخصه در طیف آن در وضعیتی عادی یا استاندارد پدیدار می‌شود. لیکن اگر کهکشان از ما دور شود، موجها بلندتر یا کشیده به‌نظر می‌رسند و خطوط مشخصه به‌سوی سرخ (راست) جابه‌جا می‌شوند. اگر کهکشان به‌سوی ما در حرکت باشد، آنگاه موجها فشرده پدیدار و خطوط به‌سوی آبی (چپ) جابه‌جا می‌گردند.



کهکشان همسایه ما، اندرومدا (Andromeda)، که توسط هابل و اسلیفر اندازه‌گیری شده است.

گاهشمار کشفیات اسلیفر و هابل میان ۱۹۱۰ و ۱۹۳۰.

۱۹۱۲ ــ اسلیفر نور چهار سحابی را اندازه گرفت و دریافت سر سحابی به‌سوی سرخ و اندرومدا به سوی آبی جابه‌جایی دارند. برداشت او آن بود که اندرومدا به‌سوی ما در حرکت است و سه سحابی دیگر از ما دور می‌شوند.

۱۹۱۴ ــ ۱۹۱۲ ــ اسلیفر ۱۲ سحابی دیگر را اندازه گرفت. همگی بجز یکی به‌سوی سرخ جابه‌جایی نشان می‌دادند.

۱۹۱۴ ــ اسلیفر یافته‌های خود را به انجمن اخترشناسی آمریکا عرضه داشت. هابل سخنان او را شنید.

۱۹۱۸ ــ هابل کنکاش در سحابیها را آغاز کرد.

۱۹۲۳ ــ هابل سحابیهای مارپیچ (از آن میان اندرومد) را کهکشانهای دیگری دانست.

۱۹۲۵ ــ ۱۹۱۴ ــ اسلیفر و دیگران اندازه‌گیری اثر دوپلر را پی گرفتند. تا سال ۱۹۲۵، ۴۳ مورد جابه‌جایی به سرخ در برابر ۲ مورد جابه‌جایی به آبی مشاهده شده بود.

۱۹۲۹ ــ هابل و میلتون هیومیسون (Milton Humason) ــ پس از پیگیری اندازه‌گیری جابه‌جاییهای دوپلر و دریافتن اینکه در مقیاس کلان هر کهکشانی از کهکشان دیگر دور می‌شود ــ اعلام کردند که جهان گسترش می‌یابد.

پیامدهای دراماتیک این کشف را دریافت: در مقیاس کلان هر کهکشان از دیگر کهکشانها دور می‌شود. جهان در حال گسترش است (شکل ۳ ـ ۶).

(شکل ۳ ـ ۶) *قانون هابل*

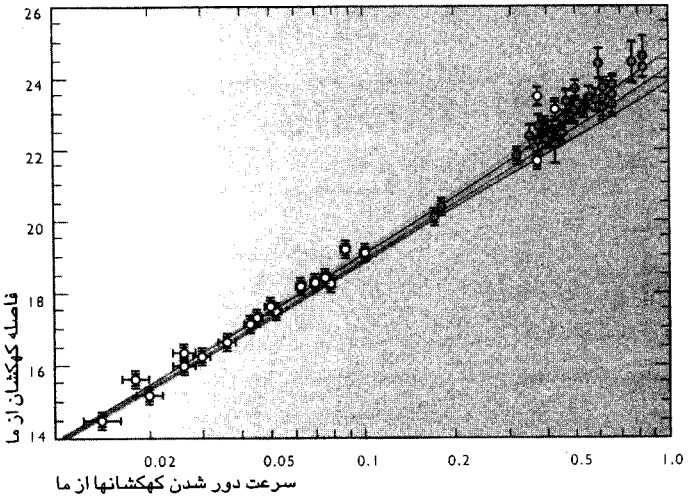
در سال ۱۹۲۰، ادوین هابل با تجزیه و تحلیل نور دیگر کهکشانها دریافت که تقریباً همه آنها با سرعت V از ما دور می‌شوند. V متناسب است با فاصله‌شان از زمین R، در نتیجه $V=H\times R$.

این مشاهده مهم به‌نام قانون هابل مشخص نمود که جهان در حال گسترش است و ثابت هابل H، نرخ گسترش را بیان می‌کند.

نمودار زیر مشاهدات اخیر جابه‌جایی به سرخ کهکشانها را نشان می‌دهد و قانون هابل را تا فاصله‌های دور از ما تأیید می‌نماید.

خمیدگی جزئی نمودار در فاصله‌های دور نشانگر شتاب گرفتن گسترش است و شاید توسط انرژی خلأ ایجاد شده باشد.

ادوین هابل پشت تلسکوپ ۱۰۰ اینچی کوه ویلسون در ۱۹۳۰



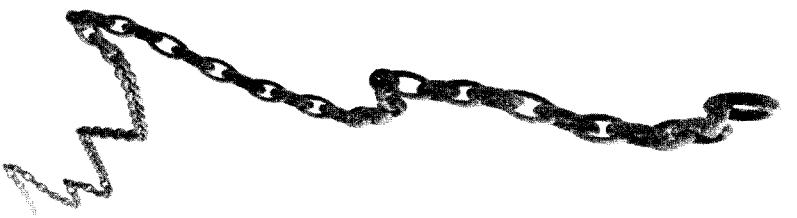
	تکینگی انفجار بزرگ
	دوران پلانک، قوانین نامعلوم و ناآشنای فیزیک
$۱۰^{-۴۳}$ ثانیه	دوران نظریه بزرگ یکپارچه (GUT) . تعادل ماده/ پادماده. کفه ماده می‌چربد.
$۱۰^{-۳۵}$ ثانیه	دوران Electro-Weak زیر تسلط کوارک‌ها و پادکوارک‌ها
$۱۰^{-۱۰}$ ثانیه	دوران هادرون و لپتون. کوارک‌ها در کار شکل دادن پروتون‌ها، نوترون‌ها، مزون‌ها و باریون‌ها
۱ ثانیه	پروتون‌ها، نوترون‌ها در هسته هیدروژن، هلیوم، لیتیوم و دوتریوم به هم می‌پیوندند.
۳ دقیقه	ماده و تابش به یکدیگر می‌پیوندند و نخستین هسته‌های پایدار شکل می‌گیرند.
۳۰۰,۰۰۰ سال	جدایی ماده و انرژی. جهانی که از نظر نوری چگال است، برای تابش زمینه کیهانی شفاف می‌شود.
۱۰۰۰ میلیون سال	خوشه‌های ماده، اخترنماها، ستارگان و پیش کهکشانها را شکل می‌دهد. ستارگان دست به ساخت هسته‌های سنگینتر می‌زنند.
۱۵۰۰۰ میلیون سال	منظومه‌های خورشیدی که به گرد ستارگان چگالیده می‌شوند، کهکشانهای تازه‌ای می‌سازند. اتمها به یکدیگر می‌پیوندند تا ملکولهای پیچیده زندگی را بسازند.

انفجار بزرگ داغ

اگر نسبیت عام درست باشد، جهان از تکینگی انفجار بزرگ با دما و چگالی بی‌نهایت آغاز شده است. با گسترش جهان، دمای تابش کاهش یافت. یک صدم ثانیه پس از انفجار بزرگ، دمای جهان به ۱۰۰ میلیارد درجه رسید و جهان عمدتاً دربرگیرنده فوتون‌ها، الکترون‌ها و نوترینوها (ذرات بسیار سبک) و پادذره‌هایشان به همراه مقداری پروتون و نوترون بود. برای سه دقیقه بعد، هنگامی که جهان سرد شد و به دمای حدود یک میلیارد درجه رسید، پروتون‌ها و نوترون‌ها به پیوستن به یکدیگر و تشکیل هسته‌های هلیوم، هیدروژن و دیگر عناصر سبک آغازیدند.

صدها هزار سال بعد، وقتی دما به چند هزار درجه رسید، سرعت الکترون‌ها به حدی کاهش یافت که هسته‌های سبک قادر به شکار آنها و تشکیل اتمها شدند. با این همه عناصر سنگینتر مانند کربن و اکسیژن که ما از آنها ساخته شده‌ایم، میلیاردها سال بعد، از سوخت هلیوم در مرکز ستارگان تشکیل یافتند.

این تصویر از جهان نخستین چگال و داغ، اولین بار در سال ۱۹۴۳ توسط جرج گاموف (George Gamow) دانشمند، در مقاله‌ای که با رالف آلفر (Ralph Alpher) نگاشته بود، پیشنهاد شد. در آن مقاله پیش‌بینی شده بود که تابش این مرحله بس داغ نخستین، هم‌اکنون نیز پیرامون ما باید باشد. در سال ۱۹۶۵ پیش‌بینی آنان تأیید شد. در آن زمان فیزیکدانان آرنوپنزیاس (Arno Penzias) و رابرت ویلسون (Robert Wilson) تابش زمینه ریز موج کیهانی را مشاهده کردند.



کشف گسترش جهان یکی از انقلابهای فکری بزرگ سده بیستم بود و همگان را در شگفتی فرو برد و گفتمان سرچشمه جهان را یکسره دگرگون ساخت. اگر کهکشانها از یکدیگر دور می‌شوند، درگذشته باید به یکدیگر نزدیکتر بوده باشند. از نرخ کنونی گسترش می‌توان تخمین زد که ده یا پانزده میلیارد سال پیش آنها باید به راستی بسیار نزدیک به یکدیگر بوده باشند. همان‌گونه که در بخش پیش توضیح داده شد، راجر پنروز و من توانستیم نشان دهیم که نظریه نسبیت عام آینشتین متضمن آن است که جهان و خود زمان باید در انفجاری مهیب، آغازی داشته باشند. توضیح تاریکی آسمان شبانگاهی این است: هیچ ستاره‌ای نمی‌توانسته است بیش از ده تا پانزده میلیارد سال، یعنی هنگام انفجار بزرگ، درخشیده باشد.

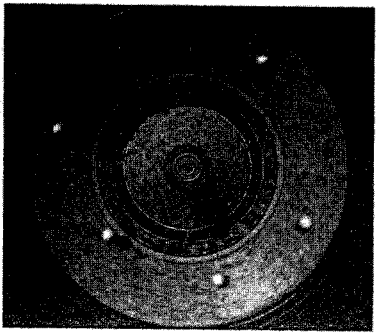
ما به این اندیشه که رویدادها معلول رویدادهایِ پیشتر هستند و آنان نیز به نوبه خود معلول رویدادهایِ باز هم پیشتر می‌باشند، خو کرده‌ایم. یک زنجیره علت و معلولی وجود دارد که تاگذشته‌ها گسترش می‌یابد. اما فرض کنید که این زنجیره آغازی داشته باشد. فرض کنید که رویداد نخستینی وجود داشته باشد. علت رویداد نخستین چه بود؟ این

پرسشی نبود که دانشمندان زیادی مایل به طرح آن باشند. آنان از این پرسش پرهیز می‌کردند، یا همچون روسها ادعا می‌کردند که جهان آغازی نداشته است، یا برآن بودند که سرچشمه جهان در قلمرو دانش نیست بلکه مربوط به متافیزیک و مذهب می‌باشد. به باور من یک دانشمند راستین چنین موضعی را اتخاذ نمی‌کند. اگر قوانین علم در آغاز جهان به حالت تعلیق درآیند، آیا امکان دارد در زمانهای دیگری نیز باطل شوند؟ چنانچه قانونی تنها گاهی وقتها صادق باشد، دیگر قانون نیست. ***ما باید بکوشیم تا آغاز جهان را بر پایه دانش بفهمیم. شاید این وظیفه فراتر از توان ما باشد، اما دست کم باید درین راه تلاش کنیم.***

قضیه‌هایی که پنروز و من ثابت کردیم، نشان می‌دادند که جهان باید آغازی داشته باشد اما درباره سرشت آن آغاز، اطلاعات چندانی به دست نمی‌دهند. آنها نشان می‌دادند که جهان در یک انفجار بزرگ آغاز شد. همه جهان و هرآنچه در آن بود، در تک‌نقطه‌ای با چگالی بی‌نهایت مچاله شده بود. در این نقطه، نظریه نسبیت عام آینشتین درهم می‌شکند و نمی‌تواند برای پیش‌بینی چگونگی آغاز جهان به‌کار گرفته شود. سرچشمه جهان ظاهراً فراتر از قلمرو دانش قرار می‌گیرد.

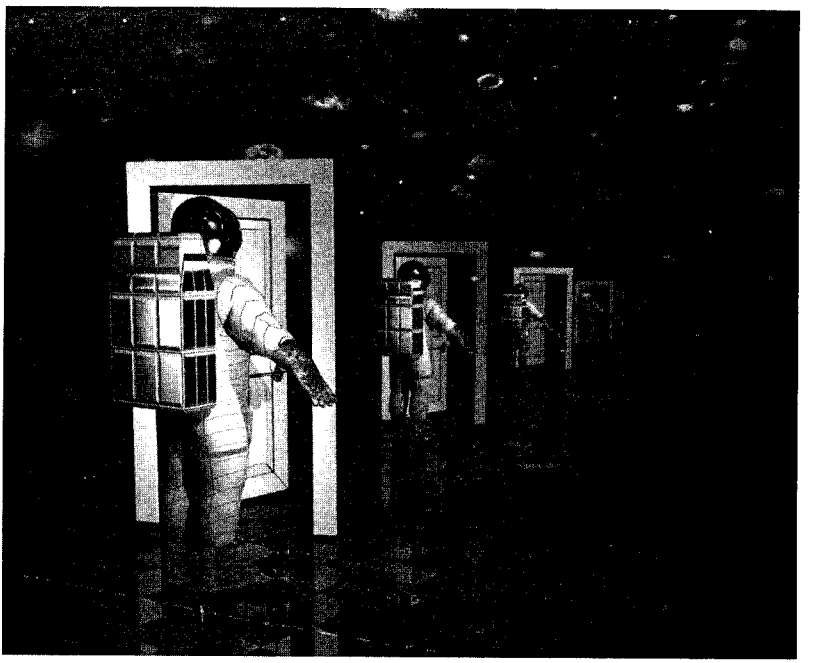
دانشمندان از این نتیجه نباید خشنود باشند. همانگونه که در بخشهای یک و دو نشان داده شد، علت درهم شکستن نسبیت عام در نزدیکی انفجار بزرگ آن است که این نظریه، اصل عدم قطعیت، عنصر تصادفی نظریه کوانتومی را دربر نمی‌گیرد. آینشتین بر پایه این باور که خداوند با تاس بازی نمی‌کند، با این نظریه مخالف بود. با این همه تمام شواهد حاکی از آن است که خداوند تاس‌بازی می‌کند. می‌توان جهان را همچون یک کازینوی بزرگ پنداشت که در آن در هر فرصتی تاسها ریخته یا چرخها چرخانده می‌شوند (شکل ۳ ـ ۷).

(شکل ۳ ــ ۷)



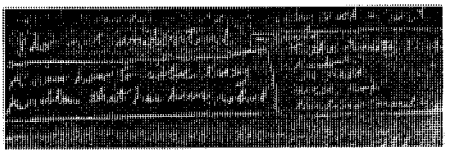
اگر قماربازی روی قرمز شرط‌بندی کند و بارها و بارها آن را تکرار نماید، می‌تواند با دقت نسبتاً خوبی نتیجه را پیش‌بینی کند، زیرا نتایج تاس ریختنهای جداگانه، پیرامون میانگین متمرکز می‌شود.

از سوی دیگر، محال است بتوان نتیجه یک شرط‌بندی خاص را پیش‌بینی نمود.



اگر مرز جهان صرفاً نقطه‌ای از فضازمان باشد، می‌توانیم مرزها را گسترش دهیم.

ریچارد فینمن



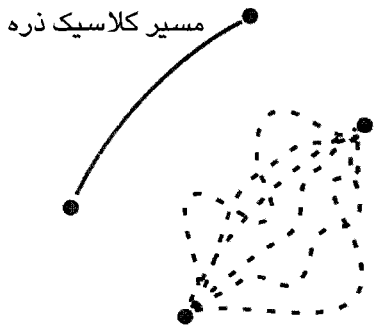
تخته سیاه در کلتک (Caltech) به هنگام در گذشتن فینمن در ۱۹۸۸

داستانهای فینمن

ریچارد فینمن در سال ۱۹۱۸ در بروکلین نیویورک زاده شد و در سال ۱۹۴۲، زیر نظر جان ویلر (John Wheeler) در دانشگاه پرینستون، Ph.D خود را دریافت نمود. سپس به زودی به پروژه منهتن کشیده شد. در آنجا او را به خاطر شخصیت پر تلاش و شوخیهای عملیش می‌شناختند ــ در آزمایشگاه لوس‌آلاموس (Los Alamos) از باز کردن گاوصندوقهای فوق سری لذت می‌برد ــ و برای آنکه فیزیکدانی استثنایی باشد، در نظریه بمب اتمی نقشی کلیدی بازی کرد. کنجکاوی همیشگی فینمن درباره جهان، ریشه وجود او را تشکیل می‌داد و نه‌تنها موتور محرکه موفقیتهای علمیش بود بلکه او را به کارهای برجسته و شگفت‌انگیز پرشماری، همچون رمزگشایی از خطوط تصویری مایان (Mayan) واداشت.

در سالهای پس از جنگ دوم جهانی، او روش اندیشیدن نیرومند تازه‌ای درباره مکانیک کوانتومی یافت و در سال ۱۹۶۵ جایزه نوبل را دریافت کرد. او فرض بنیادی کلاسیک را که هر ذره یک تاریخ خاص دارد، به چالش گرفت. در عوض پیشنهاد کرد که ذرات در امتداد هر مسیر ممکنی در فضازمان از نقطه‌ای به نقطه دیگر سیر می‌کنند. فینمن به هر مسیری دو عدد مربوط ساخت، یکی برای اندازه یا دامنه موج و یکی برای فازش ــ اینکه در قله است یا در دره موج. احتمال اینکه ذره‌ای از A به B برود با افزودن موجهای مرتبط با هر مسیر ممکن که از A و B می‌گذرد، به دست می‌آید.

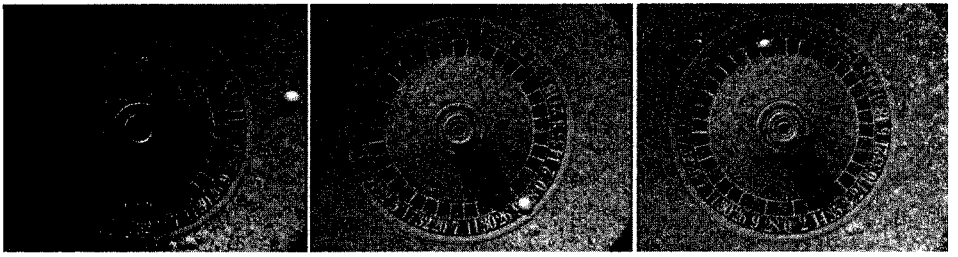
با این همه در زندگی روزمره جهان، به نظر می‌رسد که چیزها مسیر یکتایی را میان مبدأ و مقصد نهایی خود می‌پیمایند. این امر با تاریخ چندگانه فینمن (یا جمع تاریخها) سازگار است، زیرا برای چیزهای بزرگ، قانون او مبنی بر اختصاص اعداد به هر مسیر، تضمین می‌کند که به هنگام جمع کردن مسیرها، همه بجز یکی یکدیگر را حذف می‌کنند. تا آنجا که به حرکت چیزهای ماکروسکوپیک مربوط می‌شود، از میان بی‌نهایت مسیر، تنها یکی مهم است و این مسیر دقیقاً همان است که از قانونهای حرکت کلاسیک نیوتن به‌دست می‌آید.

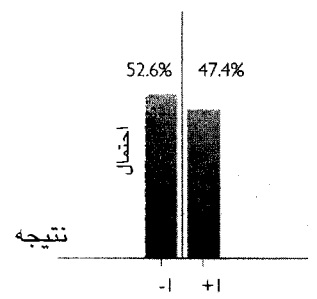


در نظریه فینمن، یک ذره هر مسیر ممکن را می‌پیماید

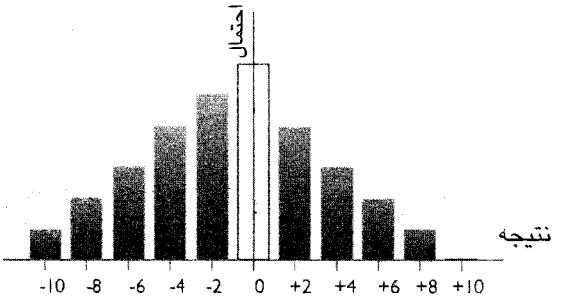
شاید فکر کنید که اداره یک کازینو، کسب و کاری مبتنی بر بخت و شانس است زیرا هربار که تاسها ریخته و چرخها چرخانده می‌شوند، خطر باختن پول وجود دارد. اما هنگامی که شرط‌بندیها زیاد باشد، میانگین برد و باختها پیش‌بینی‌پذیر می‌شود، حتی اگر نتیجه یک شرط‌بندی خاص قابل پیش‌بینی نباشد (شکل ۳ ـ ۸). گردانندگان کازینو اطمینان حاصل می‌کنند که میانگین بازیها به سود آنان است و به همین خاطر چنین ثروتمندند. تنها بخت بردن شما آن است که همه پولتان را روی دفعات محدودی تاس ریختن یا گردش چرخ، قمار کنید.

جهان نیز چنین است. زمانی که بزرگ باشد، همچنان که امروز بزرگ است، دفعات ریختن تاس بسیار زیاد، و میانگین نتایج پیش‌بینی‌پذیر است. به همین دلیل قوانین کلاسیک برای سیستمهای بزرگ صادق است. اما زمانی که جهان بسیار کوچک است، همچنان که در نزدیکی انفجار بزرگ چنین است، دفعات ریختن تاس کم است و اصل عدم‌قطعیت بسیار اهمیت می‌یابد. برخلاف آنچه شاید تصور شود،

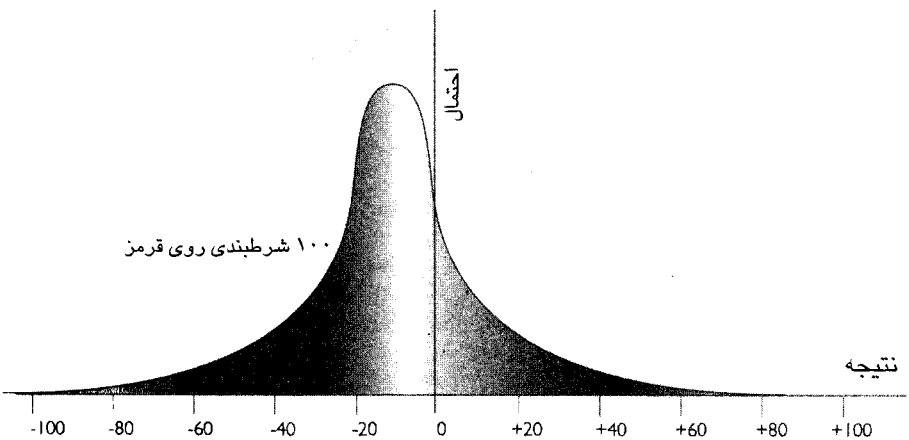




یک شرطبندی روی قرمز



۱۰ شرطبندی روی قرمز



تاریخ جهان یکتا و واحد نیست. زیرا جهان پیوسته تاس می‌ریزد تا ببیند رویداد بعدی چیست. پس جهان باید همه تاریخهای ممکن را داشته باشد و هر تاریخی هم احتمال خاص خود را دارد.

باید تاریخی از جهان وجود داشته باشد که در آن، **بلایز** (Belize) همه مدالهای طلای بازیهای المپیک را کسب کند، هرچند شاید احتمال این تاریخ اندک باشد.

این اندیشه که جهان تاریخهای چندگانه دارد شاید مانند داستانهای تخیلی علمی باشد، اما اینک چونان یک واقعیت علمی پذیرفته شده است. ریچارد فینمن فیزیکدان بزرگ و شخصیت برجسته، این اندیشه را فرمول‌بندی کرد.

اینک ما در حال ترکیب نظریه نسبیت عام آینشتین و اندیشه تاریخهای چندگانه فینمن هستیم تا نظریه یکپارچه‌ای بسازیم که هرآنچه را در جهان رخ می‌دهد، توصیف نماید. این نظریه یکپارچه ما را قادر می‌سازد که در صورت آگاهی بر چگونگی آغاز تاریخها، چگونگی توسعه جهان را محاسبه کنیم. اما نظریه یکپارچه به خودی خود به ما نخواهد گفت جهان چگونه آغاز شد یا حالت آغازین آن چه بود. به این منظور، به آنچه شرایط مرزی نام دارد نیاز است، قوانینی که به ما می‌گویند در مرزهای جهان، لبه‌های فضا و زمان، چه روی می‌دهد.

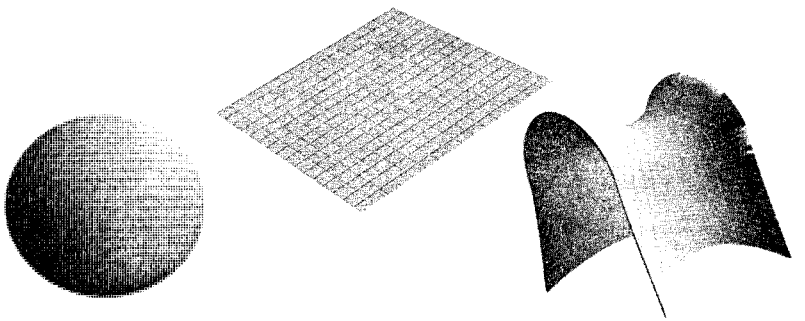
اگر مرز جهان صرفاً نقطه‌ای عادی از فضا و زمان بود، می‌توانستیم از آن بگذریم و ادعا کنیم سرزمین فراتر از آن نیز، بخشی از جهان است. از سوی دیگر اگر مرز جهان در لبه‌ای ناهموار بود که فضا و زمان در آن مچاله شده و چگالی بی‌نهایت بود، تعریف شرایط مرزیِ معنادار، بسیار دشوار

خواهد شد.

با این همه، همکاری به‌نام **جیم هارتل** (Jim Hartle) و من دریافتیم یک احتمال سوم وجود دارد. شاید جهان مرزی در فضا و زمان ندارد. در نگاه نخست به نظر می‌رسد این سخن در تضاد مستقیم با قضایایی که پنروز و من ثابت کرده بودیم، باشد. این قضیه‌ها نشان می‌داد که جهان باید آغاز و مرزی در زمان داشته باشد. با این همه، همان‌گونه که در بخش ۲ توضیح داده شد، گونه دیگری از زمان به‌نام زمان موهومی وجود دارد که نسبت به زمان حقیقی معمولی که حس می‌کنیم در راستای آن جلو می‌رویم، دارای زاویه قائمه است.

تاریخ جهان در زمان حقیقی، تاریخ آن را در زمان موهومی تعیین می‌کند و برعکس، اما دو گونه تاریخ می‌توانند بسیار متفاوت باشند. به‌ویژه در زمان موهومی، جهان نیازی به آغاز و پایان ندارد. زمان موهومی درست مانند یک جهت و راستای دیگر در فضا رفتار می‌کند. از این‌رو در زمان موهومی تاریخهای جهان را می‌توان چونان رویه‌های خمیده، مانند یک توپ، رویه تخت یا به شکل زین انگاشت، لیکن به جای دو بعد دارای چهار بعد هستند (شکل ۳ ـ ۹).

اگر تاریخهای جهان بر رویه زین‌شکل یا رویه تخت به بی‌نهایت امتداد می‌یافتند، به ناچار این پرسش پیش کشیده می‌شد که شرایط مرزی در بی‌نهایت چه بوده است. اما چنانچه تاریخهای جهان در زمان موهومی، رویه بسته‌ای همچون سطح زمین باشند، می‌توان یکسره از تعیین شرایط مرزی پرهیز نمود. رویه زمین مرز و لبه‌ای ندارد. هیچ گزارش موثقی از فرو افتادن مردمان از لبه کره‌زمین در دست نیست.



(شکل ۳ ـ ۹) *تاریخهای جهان*

اگر تاریخهای جهان همچون زین اسب به بی‌نهایت امتداد یابند، با این مشکل روبه‌رو می‌شویم که شرایط مرزی در بی‌نهایت چیست؟ اگر همه تاریخهای جهان در زمان موهومی، رویه‌های بسته‌ای مانند کره زمین باشند، دیگر نیازی به تعیین شرایط مرزی نیست.

اگر آنچنان که هارتل و من پیشنهاد کردیم، تاریخهای جهان در زمان موهومی رویه‌های بسته‌ای باشند، پیامدهای بنیادینی را برای فلسفه و تصویر ما از جایی که از آن آمده‌ایم، دربر دارد. جهان یکسره همه چیز خود را دربر می‌گیرد و به چیزی بیرونی که ساعت را کوک کند و آن را به حرکت درآورد، نیاز نخواهد داشت. در عوض، همه چیز در جهان با قوانین دانش و با ریختن تاس درون جهان تعیین می‌شود. این سخن شاید گستاخانه به نظر برسد لیکن چیزی است که من و بسیاری دانشمندان دیگر به آن باور داریم.

قوانین تکامل و شرایط اولیه

قوانین فیزیک چگونگی تکامل یک حالت اولیه را در طول زمان تعیین می‌کند. برای نمونه اگر سنگی را به هوا پرتاب کنیم، قوانین گرانش به دقت حرکت بعدی سنگ را تعیین می‌نماید.

اما تنها به کمک این قوانین نمی‌توان پیش‌بینی کرد که سنگ کجا فرو می‌افتد. برای این کار لازم است بدانیم سرعت و جهت سنگ در لحظه جدا شدن از دست ما چه بوده است. به دیگر سخن ما باید شرایط اولیه ــ شرایط مرزی ــ حرکت سنگ را بدانیم.

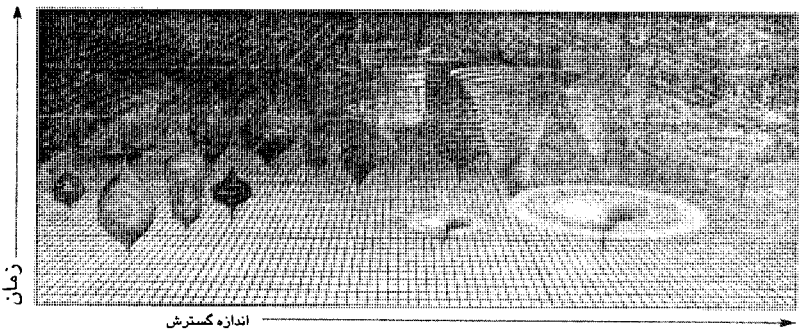
کیهان‌شناسی می‌کوشد تکامل همه جهان را با به کار بستن این قوانین فیزیک توصیف کند. از این‌رو باید بپرسیم شرایط اولیه جهان چه بوده است تا این قوانین را در مورد آنان به‌کار بریم.

حالت اولیه شاید تأثیری ژرف بر جنبه‌های بنیادین جهان، و شاید حتی بر خواص ذرات بنیادین و نیروهایی که برای تکوین زندگی زیستی نقشی قاطع داشتند، گذاشته باشد.

شرط بی‌مرزی، پیشنهادی است که زمان و فضا را متناهی و کرانمند می‌داند. آنها رویه بسته بدون مرزی را تشکیل می‌دهند؛ درست مانند سطح زمین که اندازه‌اش محدود است ولی مرزی ندارد. پیشنهاد بی‌مرزی بر پایه اندیشه تاریخ چندگانه فینمن استوار است، اما تاریخ ذره در جمع فینمن، اینک جای خود را به یک فضازمان کامل که نشانگر تاریخ همه جهان است، می‌دهد. شرط بی‌مرزی، تاریخهای ممکن جهان را دقیقاً به آن فضازمانهایی محدود می‌کند که در زمان موهومی مرزی ندارند. به دیگر سخن شرط مرزی جهان آن است که جهان مرزی ندارد.

هم‌اکنون کیهان‌شناسان بررسی می‌کنند که آیا پیکربندی اولیه که مطلوب پیشنهاد بی‌مرزی است، به همراه دلایل انسانی ضعیف، احتمالاً منجر به تکامل جهانی، همانند آنچه ما مشاهده می‌کنیم، می‌گردد یا نه.

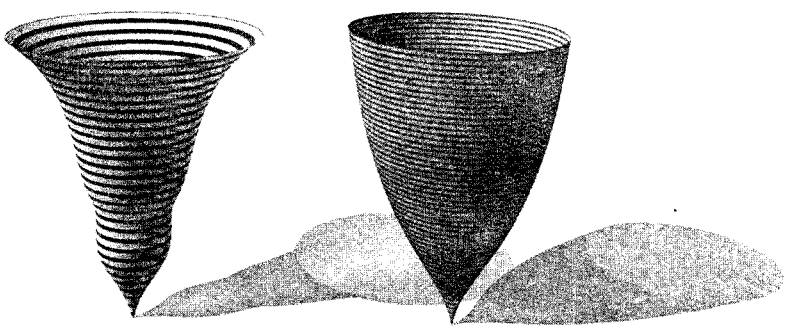
حتی اگر شرط مرزی جهان، بی‌مرزی باشد، جهان دارای تاریخی یگانه نخواهد شد بلکه همچنان که فینمن پیشنهاد کرد، تاریخهای چندگانه خواهد داشت. متناظر با هر رویه بسته ممکنی، تاریخی در زمان موهومی وجود خواهد داشت و هر تاریخی در زمان موهومی، تاریخی را در زمان حقیقی تعیین خواهد کرد. از این‌رو حالتهای ممکن برای جهان، بسیار فراوان است. آنچه جهان ویژه‌ای را که در آن زندگی می‌کنیم از مجموعه همه جهانهای ممکن جدا و برجسته می‌سازد چیست؟ نکته‌ای که می‌توان خاطرنشان ساخت آن است که بسیاری از تاریخهای ممکن جهان، رشته رخدادهای تشکیل کهکشانها و ستارگان را که برای تکوین ما ضروری بود، از سر نخواهند گذراند. اگرچه باشندگان هوشمند، بدون کهکشانها و ستارگان می‌توانند تکامل یابند اما این به نظر نامحتمل می‌رسد. پس خود اینکه ما باشندگانی هستیم که می‌توانیم بپرسیم «چرا جهان به گونه کنونیش است؟» محدودیتی بر تاریخی که در آن زندگی می‌کنیم، می‌نهد و دال بر آن است که تاریخ ما که کهکشانها و ستارگان را دربر گرفته، در اقلیت قرار دارد. این نمونه‌ای است از آنچه اصل انسانی نامیده می‌شود. اصل انسانی می‌گوید جهان باید کم یا بیش همان‌گونه باشد که آن را می‌بینیم، زیرا در غیر این صورت، دیگر کسی نبود که آن را مشاهده کند (شکل ۳ ـ ۱۰). بسیاری از دانشمندان از اصل انسانی خوششان نمی‌آید زیرا تا اندازه‌ای مبهم است و در پیش‌بینی رویدادها چندان توانمند به نظر نمی‌رسد. اما می‌توان به اصل انسانی فرمول‌بندی دقیقی داد. این اصل، به هنگام پرداختن به سرچشمه جهان، ضروری به نظر می‌رسد. نظریه اِم که در بخش ۲ ، پیرامونش سخن گفته شد، شمار خیلی زیادی از تاریخها را برای جهان ممکن می‌شمارد. بیشتر



(شکل ۳ ـ ۱۰)

در سمت چپ تصویر جهانهایی قرار دارند که (a) روی خود فرو می‌پاشند و بسته می‌شوند. در سمت راست جهانهای بازی قرار دارند (b) که برای همیشه گسترش می‌یابند.

آن جهانهای بحرانی که میان سقوط روی خودشان و ادامه گسترش، مانند (c1) یا تورم مضاعف، مانند (c2) در تعادل‌اند، ممکن است زندگی هوشمند را پناه دهند. جهان خود ما (d) فعلاً گسترش می‌یابد.



تورم مضاعف میتواند زندگی هوشمند را پناه دهد

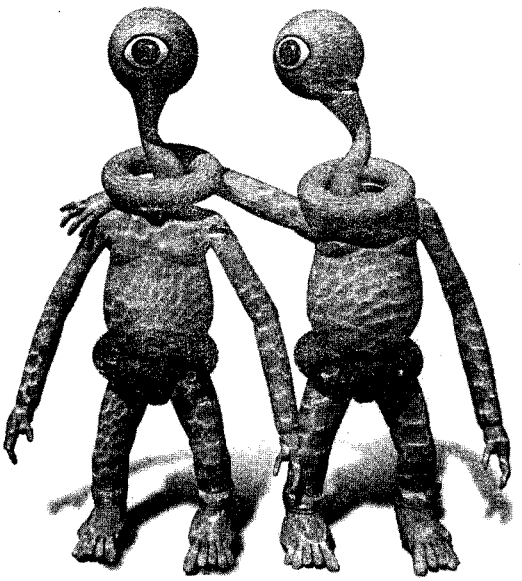
تورم جهان خود ما فعلا به گسترش ادامه میدهد.

اصل انسانی

به زبان نه چندان دقیق، اصل انسانی می‌گوید که جهان، دست کم تا اندازه‌ای به دلیل بودن ما، به‌صورت کنونیش می‌باشد. این دیدگاه درست با رؤیای نظریه‌ای یکپارچه و یکسره پیشگو که در آن قوانین طبیعت کامل‌اند و جهان به‌صورت کنونیش است زیرا جور دیگری نمی‌توانست باشد، در تضاد است. چندین نگارش گوناگون از اصل انسانی هست، از نگارشهای بسیار ضعیف که بدیهی به نظر می‌رسند تا نگارشهای بسیار قوی که یاوه‌گویی‌اند. اگرچه بیشتر دانشمندان دوست ندارند که نگارش قوی را برگزینند، گروه اندکی سودمندی برخی برهانهای اصل انسانی ضعیف را نمی‌پذیرند.

اصل انسانی ضعیف به توصیف آن می‌پردازد که در کدام دورانها یا بخشهای گوناگون و ممکن جهان می‌توانیم سکونت کنیم. برای نمونه، علت رویداد انفجار بزرگ در حدود ده هزار میلیون سال پیش آن است که جهان باید به اندازه کافی پیر باشد تا برخی ستارگان پس از سیر تکاملی خود، عناصری چون اکسیژن و کربن را که انسان را می‌سازد، تولید نمایند، و جهان باید به اندازه کافی جوان باشد که برخی ستارگان انرژی لازم برای ادامه حیات را فراهم نمایند.

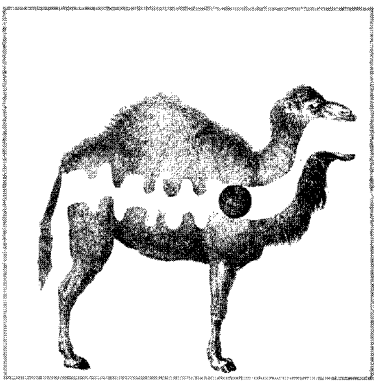
برای آنکه دریابیم کدام یک از خواص جهان، احتمالاً روی خواهد داد، می‌توان قانون فینمن را ــ که به هر تاریخ جهان، اعدادی نسبت می‌دهد ــ در چهارچوب پیشنهاد بی‌مرزی به کار گرفت. در چنین زمینه‌ای، کاربستِ اصل انسانی، تاریخها را ملزم به داشتن زندگی هوشمند می‌کند. البته چنانچه نشان بدهیم که چندین پیکربندی اولیه مختلف برای جهان، می‌تواند جهانی مانند جهان کنونی ما به‌وجود بیاورد، اصل انسانی راضی‌کننده‌تر می‌شد. معنای ضمنی‌اش آن است که نیازی به گزینش بسیار دقیق حالت اولیه بخشی از جهان که در آن زندگی می‌کنیم، نبود.



این تاریخها برای تکوین زندگی هوشمند نامناسبند؛ آنها یا تهی هستند، یا برای زمانی بس کوتاه می‌پایند، بیش از حد و اندازه خمیده شده‌اند و یا بنابر برخی دلایل دیگر، اشتباه هستند. با این همه، بر پایه اندیشه تاریخهای چندگانه ریچارد فینمن، تاریخهای نامسکون می‌توانند بسیار محتمل باشند. یادداشت «قوانین تکامل و شرایط اولیه» را بخوانید.

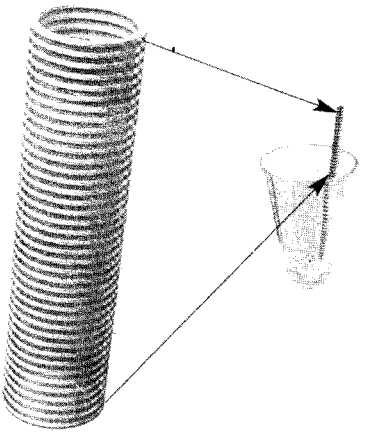
درواقع، به راستی اهمیتی ندارد که چند تاریخ بدون باشندگان هوشمند ممکن است وجود داشته باشد. ما تنها به زیرمجموعه تاریخهایی که در آن زندگی هوشمند تکوین می‌یابد علاقه‌مندیم. نیاز نیست که این زندگی هوشمند همانند انسانها باشد. بیگانگان سبزکوچک

نیز در این مجموعه می‌گنجند و شاید به راستی بهتر هم باشند. نژاد بشر پیشینه خیلی خوبی از رفتار هوشمندانه ندارد.



تعداد جهات فضایی را به‌عنوان نمونه‌ای از قدرت اصل انسانی در نظر بگیرید. تجربه همگانی می‌گوید که ما در فضای سه‌بعدی زندگی می‌کنیم. یعنی می‌توان موقعیت نقطه‌ای را در فضا با سه نقطه، مثلاً، عرض و طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا نشان داد. اما چرا فضا سه‌بعدی است؟ چرا ابعاد آن دو یا چهار یا هر عدد دیگری نیست؟ در نظریه اِم ، فضا دارای نه یا ده بعد است. اما شش یا هفت بعد درهم پیچیده و بسیارکوچک می‌باشند و سه بعد باقیمانده بزرگ و تقریباً تخت هستند (شکل ۳ ـ ۱۱).

چرا ما در تاریخی با هشت بعدِ درهم پیچیدهٔ کوچک و تنها دو بعدِ برجسته زندگی نمی‌کنیم؟ هضم غذا برای یک حیوان دوبعدی بسیار دشوار است. اگر لوله گوارش حیوان از ابتدا تا انتهای آن می‌گذشت،

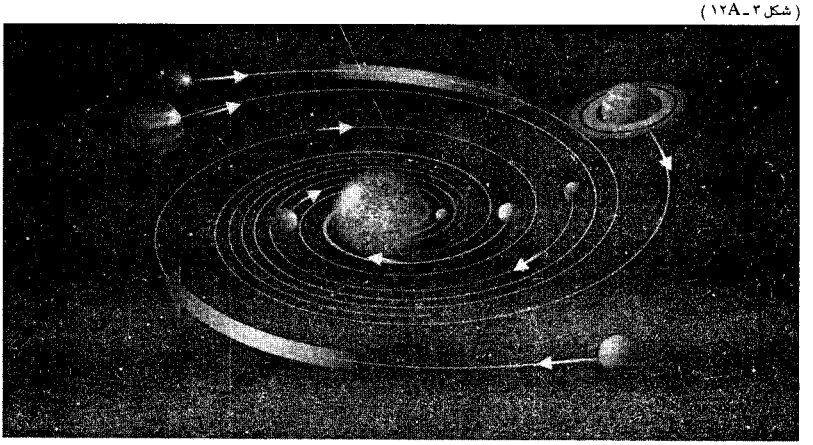


(شکل ۳ ـ ۱۱)
نی آبخوری از دور مانند یک خط یک بعدی به نظر می‌رسد.

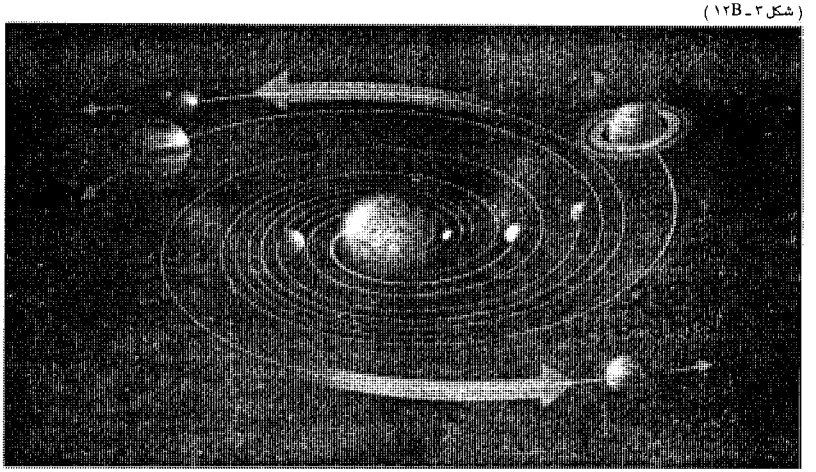
حیوان را به دو پاره بخش می‌کرد و موجود بیچاره هر تکه‌اش به یک سو می‌افتاد. پس دو بعد تخت برای چیزی به پیچیدگی زندگی هوشمند کافی نیست. از سوی دیگر، اگر چهار بعد یا بیشتر کمابیش تخت وجود داشت، نیروی گرانش میان دو جسم، با نزدیک شدن به یکدیگر، سریعتر افزایش می‌یافت. این بدان معناست که مدار سیاره‌ها به گرد خورشیدهایشان پایدار نبود و آنها یا بر روی خورشیدشان می‌افتادند (شکل ۳ ـ ۱۲A) یا به تاریکی و سرمای بیرونی می‌گریختند (شکل ۳ ـ ۱۲B).

همانند آن، مدار الکترونها در اتمها پایدار نبود و از این‌رو ماده به شکل کنونیش وجود نداشت. پس هرچند اندیشه تاریخهای چندگانه، هر تعداد بعدِ کمابیش تخت را مجاز می‌شمارد، تنها تاریخهایی با سه بعد تخت، باشندگان هوشمند را دربر خواهد داشت. تنها در چنین تاریخهایی پرسیده خواهد شد «چرا فضا سه‌بعدی است؟»

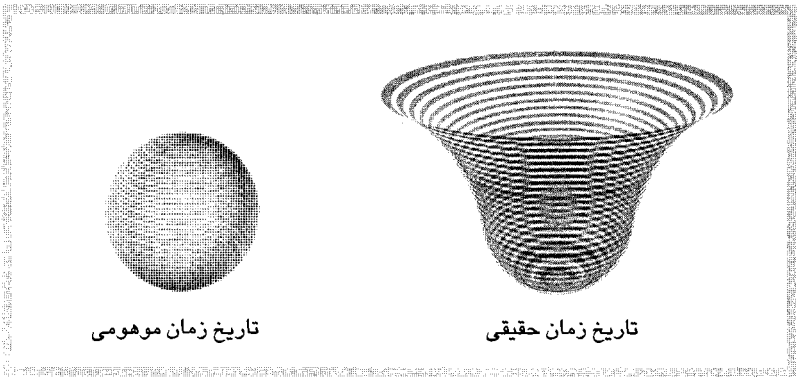
(شکل ۳ـ۱۲A)



(شکل ۳ـ۱۲B)



ساده‌ترین تاریخ جهان در زمان موهومی، یک گوی گرد، مانند سطح زمین است اما با دو بعد اضافی (شکل ۳ ـ ۱۳) و در زمان حقیقی که ما



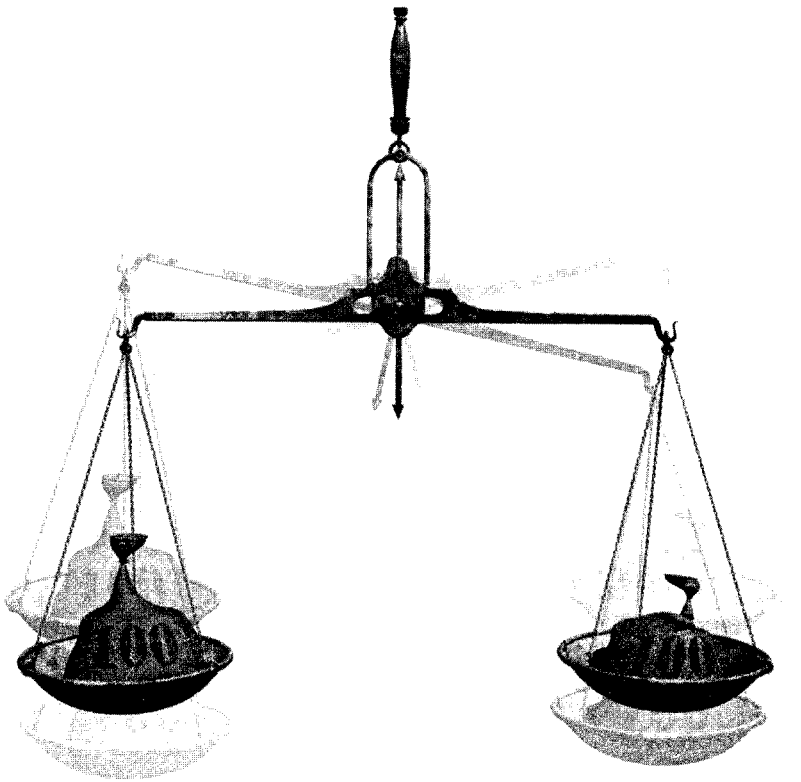
(شکل ۳ ـ ۱۳)

ساده‌ترین تاریخ بدون مرز در زمان موهومی گویی است که در زمان حقیقی، تاریخی را تعیین می‌کند که به گونه‌ای تورمی گسترش می‌یابد.

تجربه می‌کنیم، تاریخی از جهان را تعیین می‌کند که در آن، جهان در همه نقاط فضا یکسان است و در امتداد زمان گسترش می‌یابد. این چنین جهانی شبیه جهانی است که در آن زندگی می‌کنیم اما آهنگ گسترش بسیار تند است و تندتر هم می‌شود. این گسترش شتابنده تورم نام دارد، زیرا مانند روند افزایش قیمتهاست که با نرخ فزاینده‌ای بالا و بالاتر می‌رود.

تورم قیمتها را همگان چیز بدی می‌پندارند اما در مورد جهان، تورم چیز سودمندی است. گسترش زیاد، همه پستی و بلندیهای ممکن در

جهان نخستین را هموار می‌کند. جهان به هنگام گسترش، از میدان گرانشی، انرژی وام می‌گیرد تا ماده بیشتری بیافریند. انرژی مثبت ماده درست برابر با انرژی منفی گرانشی است، پس انرژی کل برابر صفر است. هنگامی که اندازه جهان دو برابر می‌شود، ماده و انرژیهای گرانشی هر دو دوبرابر می‌شوند ـ پس دوبرابر صفر، همچنان صفر است (شکل ۳ ـ ۱۴).

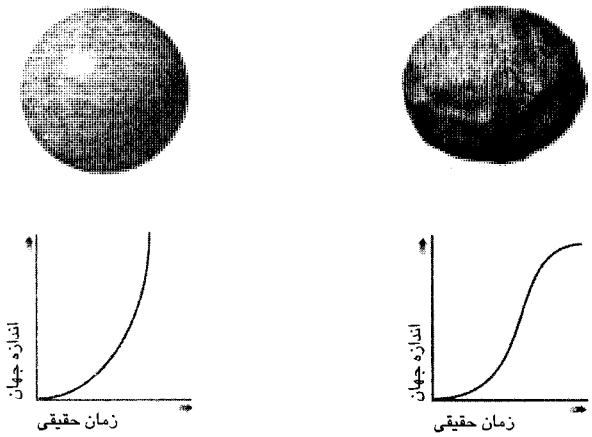


(شکل ۳ ـ ۱۴)

اگر تاریخ جهان در زمان موهومی یک گوی یکسره گرد باشد، تاریخ متناظر آن در زمان حقیقی، جهانی است که برای همیشه به گسترش تورمی خود ادامه می‌دهد. زمانی که جهان متورم می‌شود، ماده نمی‌تواند بر روی هم گرد آید تا کهکشانها و ستارگان را شکل دهد و زندگی نمی‌تواند تکوین یابد، چه رسد به زندگی هوشمند. پس هرچند تاریخهای چندگانه، تاریخهای گوی‌مانندِ یکسره گرد را در زمان موهومی مجاز می‌شمرد، اما این تاریخها چندان مورد توجه نیستند. لیکن تاریخهایی که قطب جنوبشان در زمان موهومی، اندکی پَخ شده باشد، بسیار بیشتر به درد می‌خورند (شکل ۳ ـ ۱۵).

در چنین تاریخی، تاریخ متناظر در زمان حقیقی، در آغاز به گونه‌ای تورمی و شتابنده گسترش می‌یابد. اما سپس آهنگ گسترش آرام می‌شود و کهکشانها می‌توانند شکل بگیرند. برای آنکه زندگی هوشمند بتواند تکوین یابد، قطب جنوب باید خیلی کم پَخ باشد. این بدان معناست که جهان در آغاز با سرعتی بسیار زیاد گسترش می‌یابد. تورم پولی در سالهای میان دو جنگ جهانی در آلمان به رکورد بی‌سابقه‌ای دست یافت و قیمتها چند میلیارد برابر شد ـ اما تورمی که در جهان باید رخ داده باشد دست کم یک میلیارد میلیارد میلیارد برابر آن است (شکل ۳ ـ ۱۶).

بنابر اصل عدم‌قطعیت، تنها یک تاریخ جهان که زندگی هوشمند را دربر دارد وجود نخواهد داشت. به جای آن، تاریخها در زمان موهومی، خانواده‌ای از گویها هستند که اندکی تغییر شکل یافته‌اند و هر یک متناظر با تاریخی در زمان حقیقی‌اند که در آن، جهان زمانی دراز، و نه به‌طور نامحدود، متورم می‌شود. آنگاه می‌توان پرسید کدام یک از این تاریخهای مجاز، محتملترین آنهاست. معلوم می‌شود که محتملترین تاریخها یکسره هموار نیستند و پستی و بلندیهای کوچکی دارند (شکل ۳ ـ ۱۷). روی



(شکل ۳ ـ ۱۵) *جهان تورمی*

در مدل انفجار بزرگ داغ، در جهان اولیه، زمان کافی برای اینکه گرما از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر روان شود، وجود نداشت. با این همه صرف‌نظر از اینکه به کدام سو می‌نگریم، دمای تابش زمینه ریزموج، در همه جهات یکسان است. یعنی حالت اولیه جهان باید دقیقاً همه جا دمای یکسانی داشته باشد.

در تلاش برای یافتن مدلی که در آن پیکربندی‌های اولیه مختلف بسیاری بتوانند به چیزی شبیه جهان کنونی تکامل یابند، پیشنهاد شد که جهان اولیه شاید یک دوره گسترش بسیار سریع را از سر گذرانده باشد. این گسترش، تورمی نام دارد و به معنای آن است که گسترش به جای نرخ کاهش یابنده کنونی، با نرخ هرچه فزاینده‌ای صورت پذیرفته باشد. چنین مرحله تورمی می‌تواند توضیح دهد چرا جهان در همه جهات یکسان است، زیرا در جهان اولیه، نور زمان کافی داشت که از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر سیر کند.

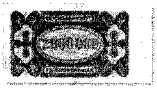
در زمان موهومی، تاریخ متناظر جهانی که به گسترش تورمی برای همیشه ادامه می‌دهد، یک گوی کاملاً گرد است. اما در جهان خودمان، گسترش تورمی پس از جزئی از ثانیه کند شد و کهکشانها توانستند شکل بگیرند. در زمان موهومی این بدان معناست که تاریخ جهان ما گویی است که قطب جنوبش اندکی پخ شده باشد.

شاخص قیمتهای عمده‌فروشی ــ تورم و فراتورم

یک مارک آلمان در سال ۱۹۱۴

ژوییه ۱۹۱۴	۱/۰
ژانویه ۱۹۱۹	۲/۶
ژوییه ۱۹۱۹	۳/۴
ژانویه ۱۹۲۰	۱۲/۶
ژانویه ۱۹۲۱	۱۴/۴
ژوییه ۱۹۲۱	۱۴/۲
ژانویه ۱۹۲۲	۳۶/۷
ژوییه ۱۹۲۲	۱۰۰/۶
ژانویه ۱۹۲۳	۳/۸۷۵/۰
ژوییه ۱۹۲۳	۱۹۴/۰۰۰/۰
نوامبر ۱۹۲۳	۷۲۶/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰/۰

ده هزار مارک در سال ۱۹۲۳



دو میلیون مارک در سال ۱۹۲۳

ده میلیون مارک در سال ۱۹۲۳

یک میلیارد مارک در سال ۱۹۲۳

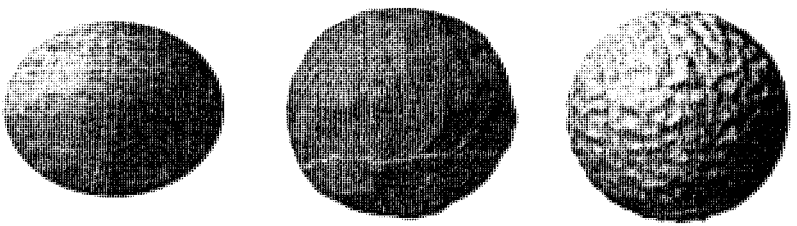
(شکل ۳ ــ ۱۶) ***شاید تورم قانون طبیعت باشد***

در آلمان پس از صلح، تورم افزایش یافت و در فوریه ۱۹۲۰ سطح قیمتها پنج برابر ۱۹۱۸ بود. پس از جولای ۱۹۲۲ مرحله فراتورمی آغاز شد. همه اعتماد به پول رخت بر بست و شاخص قیمتها برای ۱۵ ماه سریعتر و سریعتر افزایش یافت و دستگاههای چاپ اسکناس قادر به تولید اسکناس پا به پای کاهش ارزش پول نبودند. اواخر ۱۹۲۳ سیصد کارخانه کاغذسازی با تمام توان کار می‌کرد و یکصد و پنجاه چاپخانه با ۲۰۰۰ دستگاه چاپ، به‌طور شبانه‌روزی مشغول چاپ اسکناس بود.

محتملترین تاریخها چینهای به راستی کوچکی یافت می‌شود که میزان انحرافشان از سطح هموار از مرتبه یکصد هزارم می‌باشد. با این همه موفق شده‌ایم آنان را به رغم کوچکی فوق‌العاده‌شان، به‌عنوان تغییراتی

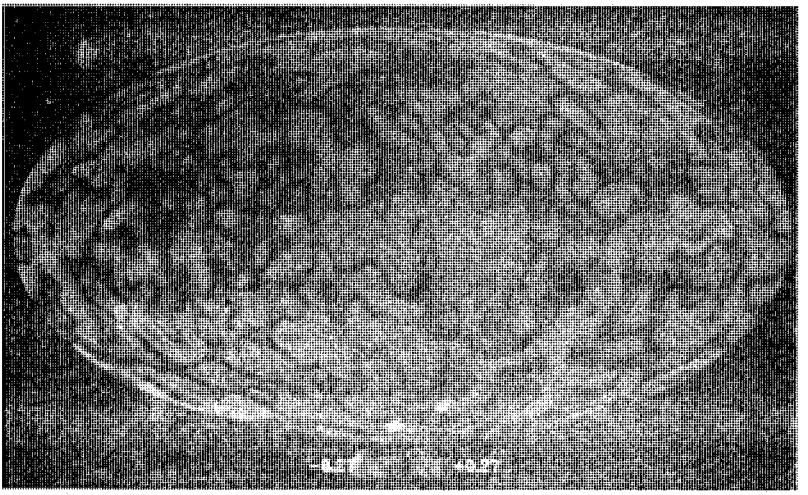
در ریزموجهایی که از جهات مختلف فضا به سوی ما می‌آیند، مشاهده کنیم. ماهواره کاوشگر زمینه کیهانی (Cosmic Background Explorer) در سال ۱۹۸۹ به فضا پرتاب شد و نقشه آسمان را بر پایه ریزموجها ترسیم نمود.

رنگهای مختلف بیانگر دماهای مختلف هستند اما سراسر گستره رنگها از قرمز تا آبی، تنها حدود یک ده هزارم درجه می‌باشد. اما همین اندازه تفاوت میان نواحی مختلف جهان نخستین، کافی بود که کشش گرانشی اضافی در نواحی چگالتر، آن مناطق را نهایتاً ازگسترش بازدارد و آنها را زیر تأثیرگرانش خودشان باز فرو پاشد وکهکشانها و ستارگان را برپا سازد. پس نقشهٔ COBE ، دست کم به‌طور اصولی، نقشه‌ای است برای همه ساختارهای جهان.



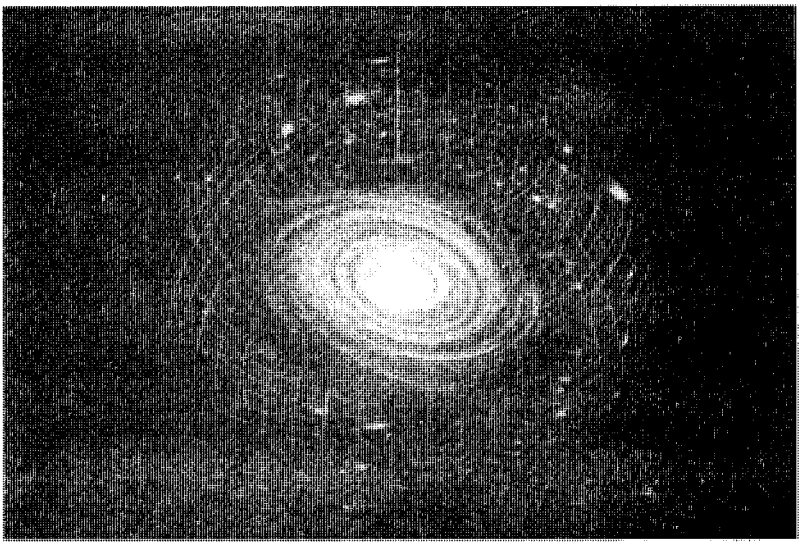
(شکل ۳ ـ ۱۷) *تاریخهای محتمل و نامحتمل*

تاریخهای هموار مانند (a) محتمل‌ترین هستند، اما تنها تعداد کمی از آنها وجود دارد. اگرچه (b) و (c) تاریخهایِ اندکی غیر عادی و با احتمال کمتر هستند، ولی تعداد آنها آن‌قدر زیاد است که تاریخهای محتمل جهان ناهمواریهای کوچکی خواهد داشت.



نقشه کامل آسمان که توسط ماهواره COBE و دستگاه DMR کشیده شده است، و برای چین و چروکهای زمان، گواهی به‌دست می‌دهد.

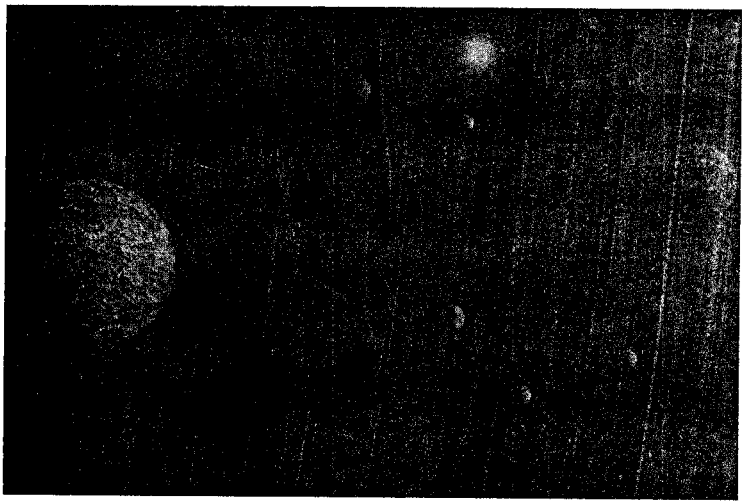
رفتار آینده محتملترین تاریخهای جهان که با پیدایش باشندگان هوشمند سازگارند چه خواهد بود؟ به نظر می‌رسد بسته به مقدار ماده‌ای که در جهان هست، امکانات گوناگونی وجود داشته باشد. اگر ماده بیش از یک مقدار بحرانی معین باشد، کشش گرانشی میان کهکشانها، حرکت آنان را کند می‌کند و در نهایت آنان را از دور شدن از یکدیگر بازمی‌دارد. سپس فرو افتادن بر یکدیگر آغاز می‌شود و همه کهکشانها گرد هم آمده و به گونه‌ای مهیب خرد می‌شوند و این پایان تاریخ جهان در زمان حقیقی خواهد بود (شکل ۳ ـ ۱۸).



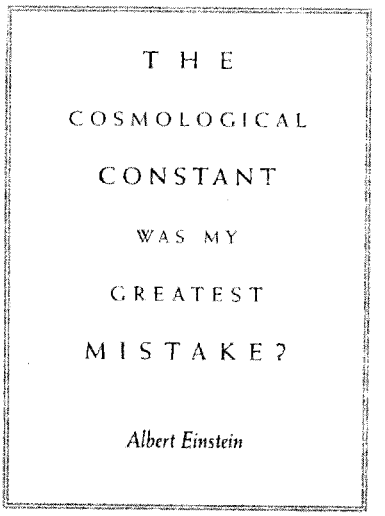
(شکل ۳ ـ ۱۸)
یک پایان محتمل برای جهان، فروپاشی بزرگ است که همه ماده در یک چاه بزرگ و ویرانگر گرانشی مکیده خواهد شد.

چنانچه چگالی جهان کمتر از مقدار بحرانی باشد، گرانش ضعیفتر از آن است که کهکشانها را از دور شدن همیشگی از یکدیگر بازدارد. همه ستارگان سوخت خود را به پایان می‌رسانند و جهان به گونه‌ای فزاینده تهی‌تر و سردتر خواهد شد. پس دوباره همه چیز به پایان می‌رسد اما به گونه‌ای کمتر دراماتیک. در هر یک از این دو حالت، جهان چند میلیارد سال دیگر خواهد پایید (شکل ۳ ـ ۱۹).

جهان شاید افزون بر ماده، چیزی به‌نام «انرژی خلأ» را دربر داشته



(شکل ۳ ــ ۱۹)
دوران سرد و طولانی که طی آن همه چیز متوقف می‌شود و آخرین ستارگان سوخت خود را به پایان رسانده خاموش می‌شوند.



ثابت کیهانی بزرگترین اشتباه من بود؟
آلبرت آینشتین

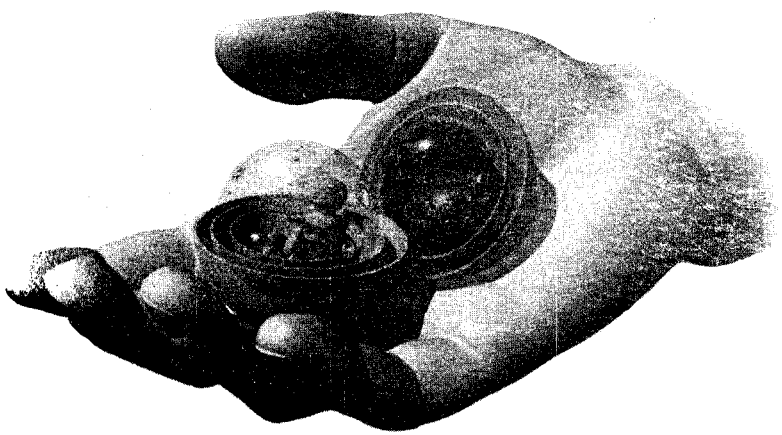
باشد، انرژی‌ای که حتی در فضای ظاهراً تهی، حاضر است. بر پایه معادله معروف آینشتین، $E = mc^2$، این انرژی خلأ، دارای جرم است، یعنی یک تأثیر گرانشی بر گسترش جهان دارد. اما تأثیر انرژی خلأ به‌طور قابل ملاحظه‌ای خلاف تأثیر ماده است. ماده گسترش را کند می‌سازد و می‌تواند در نهایت آن را متوقف و روند آن را معکوس نماید. از سوی دیگر، انرژی خلأ، گسترش را شتاب می‌بخشد، مانند آنچه در تورم می‌گذرد. درواقع، انرژی خلأ درست مانند ثابت کیهانی که در بخش ۱ درباره‌اش سخن گفته شد، رفتار می‌کند. در سال ۱۹۱۷، آینشتین وقتی دریافت که معادلات اصلیش، پاسخی را که نمایانگر جهانی ایستا باشد، نمی‌پذیرند، ثابت کیهانی را بر آنان افزود. پس از کشف گسترش جهان توسط هابل انگیزه افزودن یک ترم به معادلات از میان رفت و آینشتین ثابت کیهانی را یک اشتباه خواند.

با این همه، شاید اصلاً خطایی در کار نباشد. همان‌گونه که در بخش ۲ گفته شد، اکنون درمی‌یابیم که نظریه کوانتومی متضمن آن است که فضازمان از افت و خیزهای کوانتومی آکنده است. در یک نظریه ابرتقارنی، انرژیهای بی‌نهایت مثبت و بی‌نهایت منفی این افت و خیزهای تراز پایه، میان ذرات با اسپین‌های مختلف، حذف می‌شوند. اما از آنجا که جهان در حالت ابرتقارنی بسر نمی‌برد، انتظار نداریم که انرژیهای مثبت و منفی یکسره چنان یکدیگر را حذف کنند که حتی مقدار کم و محدودی از انرژی خلأ برجای نماند. تنها شگفتی آن است که انرژی خلأ، آنچنان به صفر نزدیک است که تا چندی پیش آشکار نشده بود.

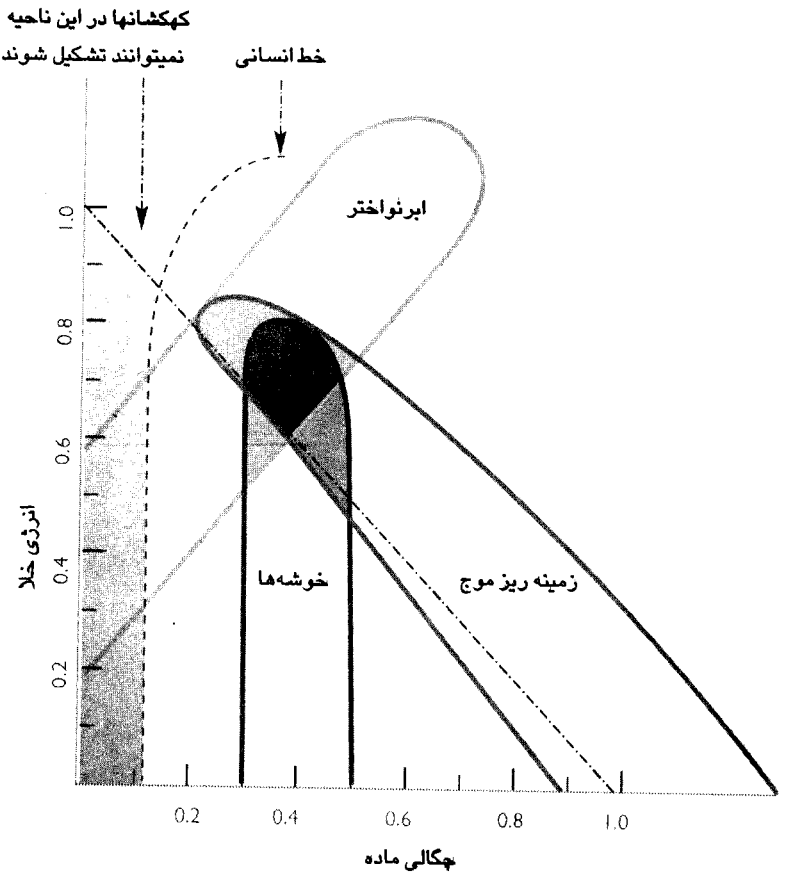
شاید این نمونه‌ای دیگر از اصل انسانی باشد. تاریخی با انرژی خلأ بیشتر، موجب شکل‌گیری کهکشانها نخواهد شد و از این‌رو باشندگان هوشمندی را که بتوانند بپرسند «چرا انرژی خلأ به این اندازه مشاهده شده است؟» نخواهد پرورد.

می‌توان کوشید مقدار ماده و انرژی خلأ در جهان را از مشاهدات گوناگون تعیین کرد. نتایج را می‌توان در نموداری نشان داد که در آن چگالی ماده، محور افقی و انرژی خلأ محور عمودی باشند. خط نقطه‌چین، مرز ناحیه‌ای را نشان می‌دهد که در آن زندگی هوشمند می‌تواند تکوین یابد (شکل ۳ ـ ۲۰).

((میتوانم در پوست گردویی زندانی باشم و باز خود را پادشاه فضای بیکرانه بینگارم.))
شکسپیر هملت ـ پرده دوم ـ صحنه دوم



مشاهدات ابرنواختران، ستارگان خوشه‌ای و ریز موج زمینه هر یک ناحیه‌هایی را در نمودار مشخص می‌سازند. خوشبختانه هر سه ناحیه مقطع مشترکی دارند. اگر چگالی ماده و انرژی خلأ در این مقطع مشترک



(شکل ۳ ــ ۲۰)

با آمیختن مشاهدات ابر نواختران دوردست، تابش زمینه ریز موج کیهانی، و توزیع ماده در جهان، می‌توان انرژی خلأ و چگالی ماده در جهان را به خوبی تخمین زد.

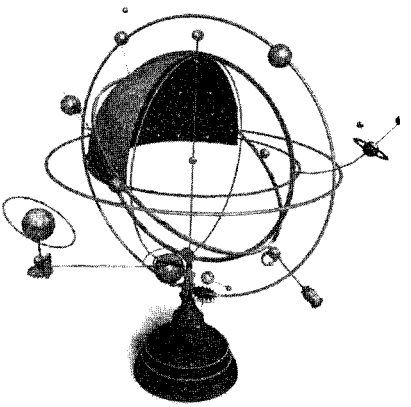
قرار گیرند، بدان معنا خواهد بود که گسترش جهان، پس از یک دوره طولانی کند شدن، دوباره شتاب گرفته است. به نظر می‌رسد که تورم ممکن است قانون طبیعت باشد.

در این بخش دیدیم که چگونه رفتار جهان پهناور می‌تواند برحسب تاریخش در زمان موهومی، که همانند گویی کوچک و اندکی پخ است، دانسته شود. این گوی، همچون پوست گردوی هملت است، لیک این گردو هرآنچه را در زمان حقیقی روی می‌دهد رمزگذاری می‌کند. پس هملت به راستی درست می‌گفت. می‌توانیم در پوست گردویی جا بگیریم و هنوز خود را شاهان فضای بیکران بینگاریم.

بخش چهارم

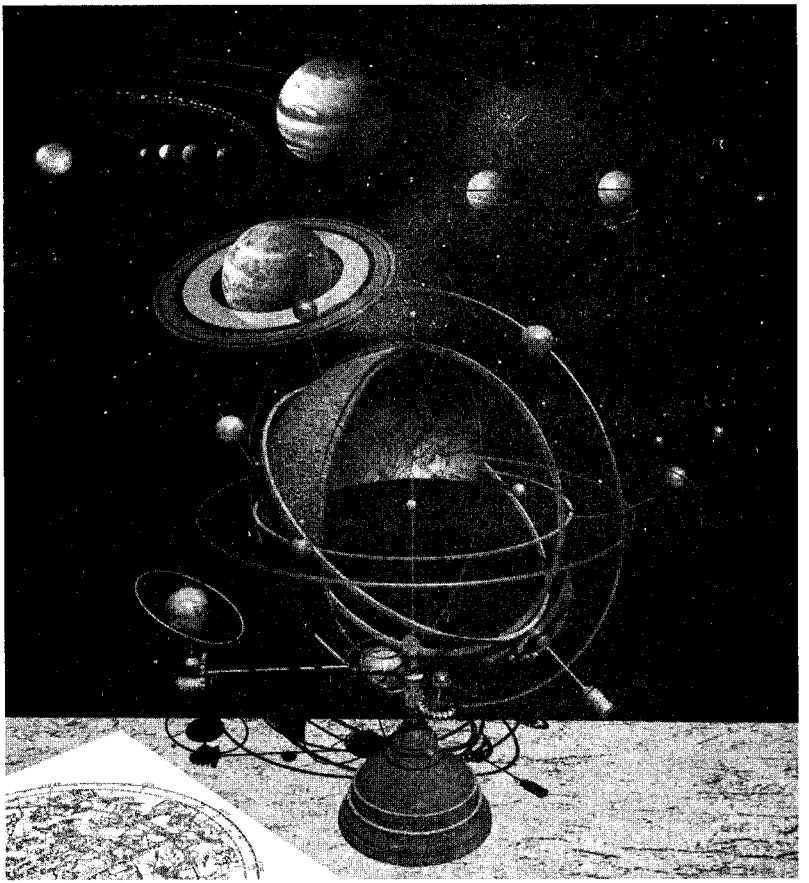
پیش‌بینی آینده

چگونه گم شدن اطلاعات در سیاهچاله‌ها می‌تواند توانایی ما را در پیش‌بینی آینده کاهش دهد

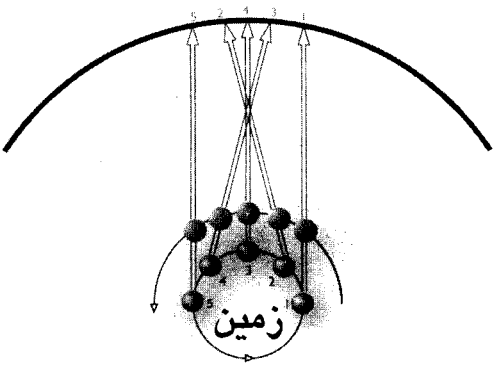


ژاد بشر همواره می‌خواسته است آینده را کنترل کند یا دست کم رویدادهای آینده را پیش‌بینی نماید، به همین خاطر اختربینی هواداران زیادی دارد. اختربینی می‌گوید که رویدادهایی که روی زمین رخ می‌دهد به حرکت ستارگان در آسمان پیوند دارد. این فرضیه را از نظر علمی می‌توان آزمود، البته اگر اختربینان و طالع‌شناسان با گردن افراشته پیشگوییهای مشخص و آزمون‌پذیری انجام دهند. با این همه آنان خردمندانه پیش‌بینی‌های چنان ناروشن و مبهمی می‌کنند که با هر رویدادی سازگار از آب درآید. نادرستی گزاره‌هایی همچون «روابط شخصی ممکن است حاد شود» یا «فرصت مالی طلایی به سراغتان خواهد آمد» را هرگز نمی‌توان ثابت کرد.

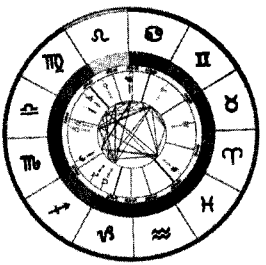
اما اینکه دانشمندان، اختربینی و طالع‌شناسی را باور ندارند به راستی نه به خاطر وجود یا فقدان گواه علمی است، بلکه از آن‌روست که با نظریه‌های دیگر که به‌طور تجربی آزمون شده‌اند، سازگار نیست. هنگامی که **کوپرنیک** (Copernicus) و **گالیله** (Galileo) کشف کردند که سیاره‌ها به گرد خورشید و نه زمین می‌گردند و نیوتن قوانین حاکم بر



حرکتشان را کشف کرد، اختربینی ظاهر حق به جانب خود را به شدت از دست داد. چرا وضعیت دیگر سیاره‌ها در آسمان، آنگونه که از زمین دیده می‌شود، باید با ماکروملکول‌هایی که در سیاره‌ای کوچک خود را زندگی هوشمند می‌نامند، هیچ همبستگی‌ای داشته باشد (شکل ۴ ـ ۱)؟ این چیزی است که اختربینی می‌خواهد ما باور داشته باشیم. برای برخی از نظریه‌هایی که در این کتاب توصیف می‌شوند، گواه تجربی بیشتری از آنچه برای اختربینی وجود دارد، یافت نمی‌شود، اما ما به این نظریه‌ها باور داریم زیرا آنها با نظریه‌هایی که از بوته آزمایش سربلند بیرون آمده‌اند، سازگارند.



(شکل ۴ ـ ۱)
ناظر روی زمین که به گرد خورشید می‌گردد مریخ را بر پس‌زمینه افلاک می‌نگرد.
حرکت ظاهری پیچیده سیاره‌ها در آسمان را با قوانین نیوتن می‌توان توضیح داد و هیچ تأثیری بر سرنوشت شخصی مردمان ندارد.



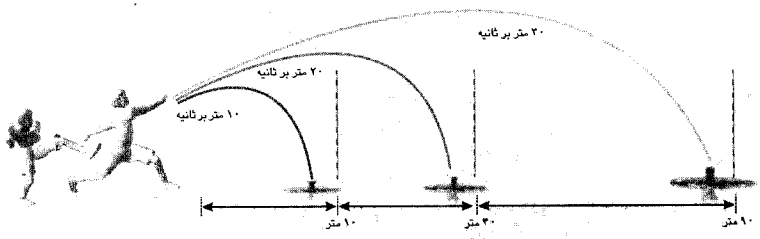
«مریخ این ماه برقوس تیرانداز خواهد بود و این زمان جستجوی خودآگاهی برای شماست. مریخ از شما می‌خواهد که روزگار را بر پایه آنچه درست احساس می‌کنید بگذرانید و نه براساس آنچه دیگران درست می‌پندارند. و این خواست، تحقق خواهد یافت.

در بیستم ماه کیوان به قلمرو خورشیدی‌تان که مرتبط با تعهد و دوران زندگیتان است، خواهد رسید و خواهید آموخت که مسئولیتها را بپذیرید و روابط دشوار را سامان دهید.

اما چون قرص ماه کامل شود به درون‌نگری شگفت و فرانگرشی بر سراسر زندگیتان دست خواهید یافت که شما را دگرگون خواهد ساخت.»

موفقیت قوانین نیوتن و دیگر نظریه‌های فیزیکی به اندیشه جبرگرایی علمی انجامید که نخستین‌بار در آغاز سده نوزدهم دانشمند فرانسوی **مارکی دو لاپلاس** (Marquis de Laplace) آن را بازگو نمود. لاپلاس اظهار داشت که اگر ما موقعیت و سرعت همه ذرات جهان را در یک لحظه بدانیم، قوانین فیزیک به ما امکان می‌دهند که حالت جهان را در هر لحظه دیگری در گذشته و آینده پیش‌بینی نماییم (شکل ۴ ـ ۲).

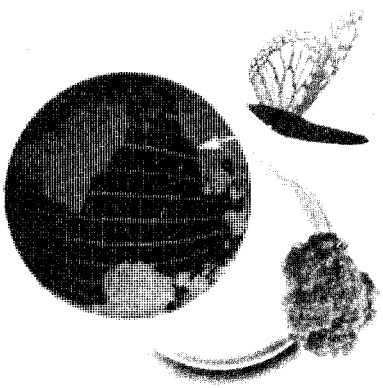
به دیگر سخن اگر جبرگرایی علمی پابرجا باشد، به‌طور اصولی باید بتوانیم آینده را پیش‌بینی کنیم و نیازی به اختربینی نداریم. البته در عمل، حتی چیزی به سادگی نظریه گرانش نیوتن، معادلاتی به‌بار می‌آورد که نمی‌توانیم برای بیش از دو ذره به‌طور دقیق حل کنیم. از این گذشته، معادلات اغلب خاصیتی به‌نام آشوب (Chaos) دارند آنچنان که تغییر کوچکی در موقعیت یا سرعت در یک زمان می‌تواند به رفتاری یکسره دگرگون در زمانهای بعد بینجامد.



(شکل ۴ ـ ۲)

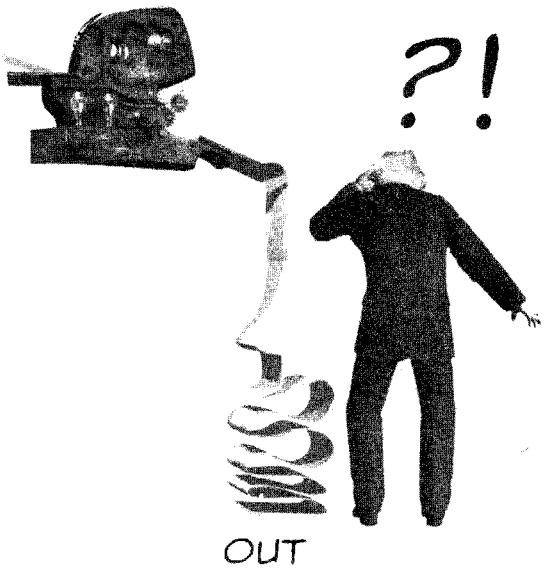
اگر جای پرتاب و سرعت آغازین توپ بیس‌بال را بدانید، می‌توانید پیش‌بینی کنید توپ کجا خواهد رفت.

کسانی که فیلم ***پارک ژوراسیک*** را دیده‌اند می‌دانند، آشفتگی کوچک در جایی می‌تواند تغییر بزرگی را در جای دیگر برانگیزد. بال زدن پروانه‌ای در توکیو می‌تواند موجب آمدن باران در پارک مرکزی نیویورک شود (شکل ۴ ـ ۳). دشواری آنجاست که رشته رویدادها تکرارپذیر



(شکل ۴ ـ ۳)

نیست. پروانه چون بار دیگر بال زند، گروهی از عوامل دیگر، تفاوت خواهد کرد و باز بر آب و هوا تأثیر خواهد گذاشت. اینچنین است که پیش‌بینی‌های هواشناسی این‌قدر غیر قابل اعتماد است.



بدین‌سان، اگرچه به‌طور اصولی قوانین الکترودینامیک کوانتومی باید امکان دهد همه چیز را در شیمی و زیست‌شناسی محاسبه کنیم، لیکن در پیش‌بینی رفتار انسانی با استفاده از معادلات ریاضی، موفقیت زیادی به‌دست نیاورده‌ایم. با همهٔ این دشواریهای عملی، بیشتر دانشمندان با این اندیشه که باز هم به‌طور اصولی آینده پیش‌بینی‌پذیر است، خود را تسلی داده‌اند.

در نگاه نخست، به نظر می‌رسد جبرگرایی با اصل عدم‌قطعیت نیز

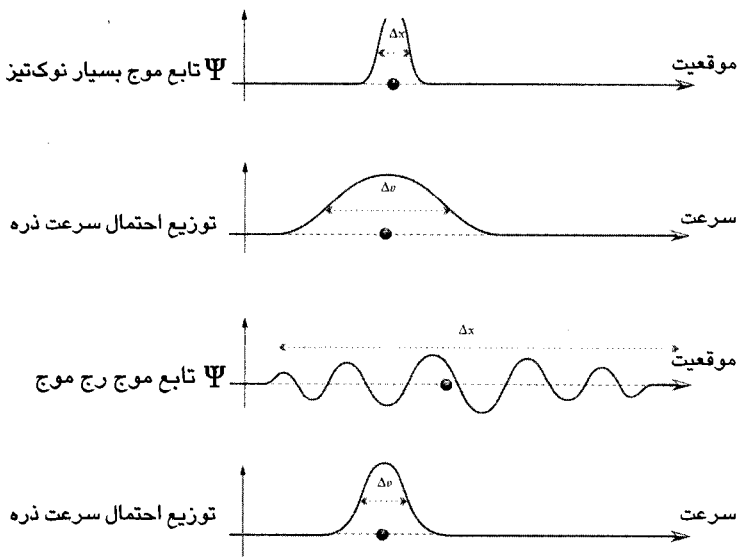
تهدید می‌شود. اصل عدم‌قطعیت می‌گوید نمی‌توان موقعیت و سرعت یک ذره را هم‌زمان به دقت اندازه گرفت. هرچه موقعیت را دقیقتر اندازه بگیریم، سرعت را با دقت کمتری اندازه خواهیم گرفت و برعکس.

نگارش لاپلاس از جبرگرایی علمی بر آن بود که اگر موقعیت و سرعت ذرات را در یک زمان می‌دانستیم، می‌توانستیم موقعیت و سرعت آنان را در هر زمان در گذشته یا آینده تعیین کنیم. اما اگر اصل عدم‌قطعیت ما را از دانستن موقعیت و سرعت ذرات در یک زمان بازمی‌دارد، چگونه حتی می‌توانیم آغاز کنیم؟ اگر داده‌هایی که به رایانه می‌دهیم نادرست باشد، هرقدر هم که رایانه خوب باشد، پیش‌بینی‌های نادرست از آن دریافت خواهیم کرد.

به هر حال، جبرگرایی به شکلی اصلاح شده، در نظریه‌ای نوین به‌نام مکانیک کوانتومی که اصل عدم‌قطعیت را دربر می‌گرفت، احیا شد. در مکانیک کوانتومی ــ به بیان نه‌چندان دقیق ــ می‌توان نیمی از آنچه را انتظار داریم در دیدگاه کلاسیک لاپلاسی پیش‌بینی کنیم، به دقت پیش‌بینی نمود. در مکانیک کوانتومی ذره دارای موقعیت یا سرعت خوش تعریف نیست، اما حالت آن را **می‌توان** با آنچه تابع موج می‌نامند نشان داد (شکل ۴ ــ ۴).

تابع موج، عددی است متناظر با هر نقطه از فضا که احتمال یافت شدن ذره در آن موقعیت را به دست می‌دهد. نرخ تغییر تابع موج، از یک نقطه به نقطه دیگر، احتمالِ سرعتهای مختلفِ ذره را نشان می‌دهد. پاره‌ای از تابعهای موج در نقطهٔ خاصی از فضا، قله تیزی دارند. در این موارد، عدم‌قطعیتِ اندکی در موقعیت ذره هست. اما در نمودار می‌توان دید که در این موارد، تابع موج در نزدیک قله به سرعت تغییر

می‌کند، از یک سو به سرعت افزایش، و از سوی دیگر به شدت کاهش می‌یابد. این بدان معناست که توزیع احتمال سرعت، در محدوده پهنی گسترده شده است. به دیگر سخن، عدم‌قطعیت در سرعت بزرگ است. از سوی دیگر به دنباله پیوسته‌ای از امواج بنگرید. اینک عدم‌قطعیت در موقعیت زیاد و در سرعت اندک است. پس توصیف ذره با تابع موج، موقعیت یا سرعت خوش تعریفی به دست نمی‌دهد و این، اصل عدم‌قطعیت را برآورده می‌سازد. اکنون درمی‌یابیم که تابع موج

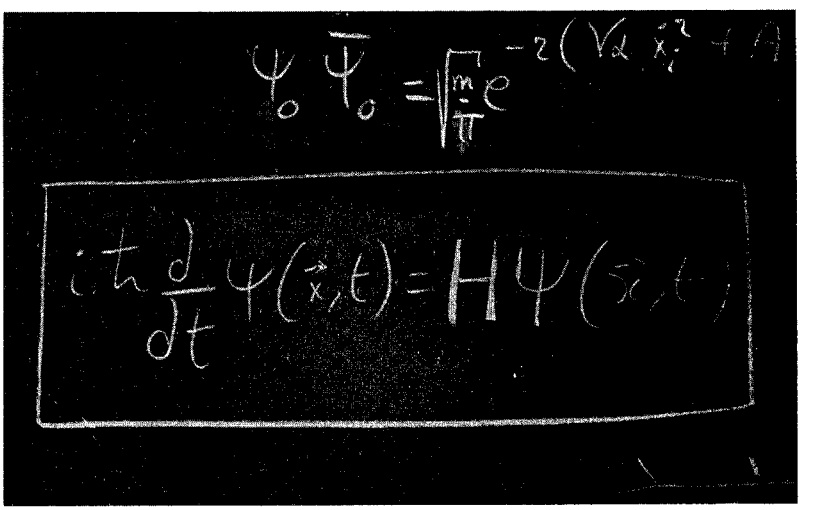


(شکل ۴ ـ ۴)

تابع موج، احتمال اینکه ذره موقعیتها و سرعتهای گوناگونی را داشته باشد تعیین می‌کند به گونه‌ای که Δx و Δv اصل عدم قطعیت را برآورده سازند.

همه آن چیزی است که می‌تواند خوش تعریف باشد. حتی نمی‌توانیم فرض کنیم که ذره دارای موقعیت و سرعتی است که بر خداوند معلوم و از ما پوشیده است. چنین نظریه‌های «متغیر پنهان»، پیش‌بینی‌هایی می‌کنند که با مشاهده سازگار نیست. حتی خداوند نیز با اصل عدم قطعیت محدود می‌شود و بر موقعیت و سرعت نمی‌تواند آگاه باشد؛ او تنها بر تابع موج آگاه است.

معادله شرودینگر میزان تغییرات تابع موج برحسب زمان را به دست می‌دهد (شکل ۴ ـ ۵). اگر در یک زمان تابع موج را بدانیم، با



(شکل ۴ ـ ۵)

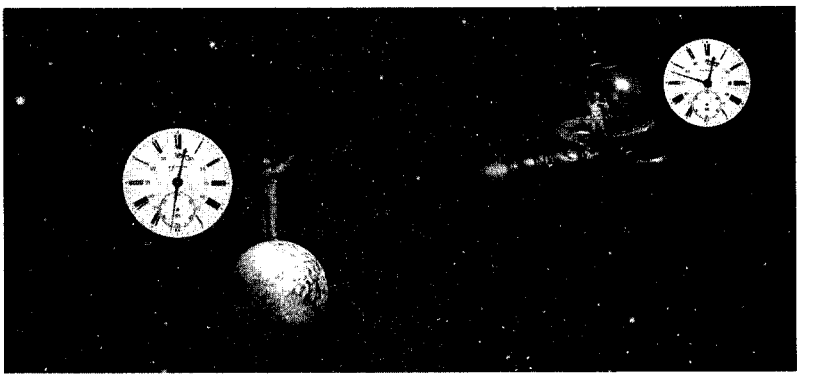
معادله شرودینگر

تغییر تابع موج ψ برحسب زمان توسط عملگر هامیلتونی H تعیین می‌شود. عملگر H با انرژی سیستم فیزیکیِ در دست بررسی پیوند دارد.

کاربست معادله شرودینگر می‌توانیم تابع موج را در هر زمان دیگر در گذشته یا آینده محاسبه نماییم. بنابراین، در نظریه کوانتومی هنوز جبرگرایی وجود دارد اما در مقیاسی کمتر. به جای اینکه بتوانیم موقعیتها و سرعتها را پیش‌بینی کنیم، تنها قادریم تابع موج را پیش‌بینی کنیم. این به ما اجازه می‌دهد که یا موقعیتها یا سرعتها، و نه هر دو را به‌طور دقیق، پیش‌بینی نماییم. از این‌رو در نظریه کوانتومی توانایی پیشگویی دقیق، تنها نیمی از آن چیزی است که در دیدگاه کلاسیک لاپلاسی یافت می‌شد. با این وجود، هنوز می‌توان ادعا کرد که جبرگرایی در این معنای محدود یافت می‌شود.

ولی کاربست معادله شرودینگر برای استنتاج و بیرون کشیدن تابع موج در امتداد زمان (یعنی پیش‌بینی اینکه تابع موج در آینده چه خواهد بود) تلویحاً فرض می‌کند که زمان همه جا و برای همیشه به گونه‌ای هموار به جلو می‌رود. بی‌گمان در فیزیک نیوتنی این پنداشت درست بود. زمان مطلق انگاشته می‌شد، یعنی به هر رویدادی در تاریخ جهان، عددی به‌نام زمان تعلق می‌گرفت و رشته‌ای از این اعداد از بی‌نهایت در گذشته تا بی‌نهایت در آینده به هموار امتداد می‌یافت. این را می‌توان دیدگاه عقل سلیم از زمان خواند و این دیدگاهی است که بیشتر مردمان و حتی بیشتر فیزیکدانان در پس ذهن خویش دارند. با این همه، همان‌گونه که دیدیم در ۱۹۰۵ ، مفهوم زمان مطلق، با نظریه نسبیت خاص به زیر کشیده شد. در این نظریه، زمان دیگر کمیتی مستقل نبود بلکه صرفاً بعدی از پیوستاری چهاربعدی به‌نام فضازمان بود. در نظریه نسبیت خاص، ناظران مختلف که با سرعتهای متفاوت سیر می‌کنند، در فضازمان بر مسیرهای مختلفی حرکت می‌نمایند. هر ناظر در راستای مسیری که

دنبال می‌کند، اندازه‌گیری خودش را از زمان دارد، و ناظرهای مختلف، میان رویدادها، بازه‌های زمانی مختلف اندازه خواهند گرفت (شکل ۴ ـ ۶).



(شکل ۴ ـ ۶)
در فضازمان تخت نسبیت خاص، ناظرانی که با سرعتهای متفاوت در حرکتند، اندازه‌گیریهای متفاوتی از زمان خواهند داشت، اما می‌توان با به کار بستن معادله شرودینگر در هر یک از این زمانها پیش‌بینی کرد که تابع موج در آینده چه خواهد بود.

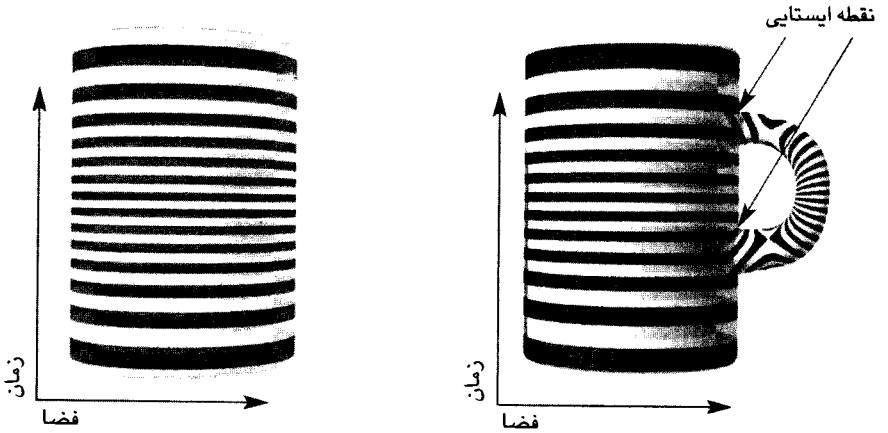
پس در نسبیت خاص، زمان مطلقی که بتوان با آن رویدادها را علامت زد، یافت نمی‌شود. ولی فضازمان نسبیت خاص، صاف و تخت است. یعنی در نسبیت خاص، زمانی را که هر ناظری که آزادانه در حرکت است، اندازه می‌گیرد، از منهای بی‌نهایت درگذشته تا مثبت بی‌نهایت در آینده، به همواری افزایش می‌یابد. می‌توان هر یک از این اندازه‌گیریهای زمانی را در معادله شرودینگر گذاشت و تابع موج را به‌دست آورد. پس

در نسبیت خاص، هنوز نگارش کوانتومی جبرگرایی یافت می‌شود.

اوضاع در نظریه نسبیت عام فرق کرد، در این نظریه فضازمان نه تخت که خمیده بود و به دستِ ماده و انرژی موجود در آن، دچار کژدیسی و اعوجاج شده بود. در منظومه خورشیدی ما، خمیدگی فضازمان دست کم در مقیاس ماکروسکوپی چنان اندک است که با اندیشه معمولی ما از زمان تداخل نمی‌کند. در این وضعیت می‌توانستیم همچنان این زمان را در معادله شرودینگر به‌کار بریم و تکامل جبری تابع موج را به‌دست آوریم. ولی همین که خمیدگی فضازمان را بپذیریم، این امکان پدیدار می‌شود که شاید ساختارش، افزایش هموارِ زمان برای هر ناظر را که ما به‌عنوان یک اندازه‌گیری معقول زمان می‌پنداریم، مجاز نشمرد. برای نمونه فرض کنید فضازمان همچون استوانه باشد (شکل ۴ ـ ۷).

بالا رفتن از استوانه، سنجشی از زمان است که برای هر ناظری افزایش می‌یابد و از منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت جاری است، اما به جای آن تصور کنید فضازمان چون استوانه‌ای باشد که دسته‌ای (یا «سوراخ کرمی») دارد که از آن منشعب شده و دوباره به آن پیوسته باشد. آنگاه هر اندازه‌گیری از زمان به ناگزیر در آنجا که دسته و استوانه به یکدیگر پیوند می‌خورند، نقاط ایستی خواهد داشت؛ در آن نقاط زمان ایستاست و برای هیچ ناظری افزایش نمی‌یابد. در چنین فضازمانی نمی‌توان معادله شرودینگر را به‌کار بست و سیر تکاملی جبرگرایانه‌ای برای تابع موجی به‌دست آورد. مواظب سوراخهای کرم باشید: هرگز نمی‌توانید بفهمید چه چیزی از آنها ممکن است بیرون بیاید.

اینکه می‌اندیشیدیم زمان برای هر ناظر، افزایش نخواهد یافت، به

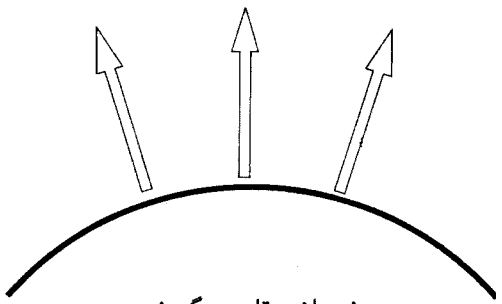


(شکل ۴ ــ ۷)

زمان از حرکت باز می‌ایستد

در نقطه‌ای که دسته به بدنه استوانه‌ای می‌پیوندد، اندازه‌گیری زمان به ناچار از حرکت باز می‌ایستد؛ در این نقاط زمان در هیچ جهتی افزایش نخواهد یافت. از این‌رو نمی‌توان معادله شرودینگر را برای پیش‌بینی تابع موج در آینده به کار برد.

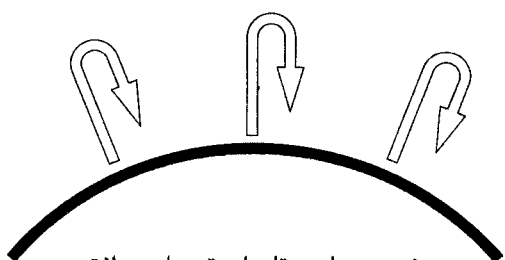
دلیل وجود سیاهچاله‌هاست. نخستین‌بار در سال ۱۷۸۳ درباره سیاهچاله‌ها بحث شد. **جان میچل** (John Michell) مدرس پیشین کمبریج، استدلال زیر را مطرح ساخت: اگر ذره‌ای همچون گلوله توپ را به بالا شلیک کنیم، گرانش، بالا رفتنش را کند می‌کند و سرانجام ذره از بالا رفتن بازمانده و پایین خواهد افتاد (شکل ۴ ــ ۸). اما اگر سرعت اولیه شلیک از یک مقدار بزنگاهی یا بحرانی به‌نام سرعت گریز بیشتر باشد، گرانش هرگز آن اندازه نیرومند نیست که ذره را بازایستاند و ذره خواهد گریخت.



نور از ستاره میگریزد (شکل ۴ ــ ۸)

سرعت گریز زمین نزدیک به ۱۲ کیلومتر در ثانیه و برای خورشید ۶۱۸ کیلومتر در ثانیه است.

هر دوی این سرعتهای گریز، از سرعت واقعی گلوله‌های توپ بسیار بیشتر اما از سرعت نور که ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است کمترند. پس نور بدون دشواری زیادی از زمین یا خورشید می‌گریزد. اما میچل استدلال کرد که ستارگانی با جرم بسیار زیادتر از جرم خورشید می‌توانند باشند که سرعت گریزشان از سرعت نور بیشتر باشد (شکل ۴ ــ ۹). ما



نور در دام ستاره‌ای توده‌ای میافتد (شکل ۴ ــ ۹)

نمی‌توانیم این ستارگان را ببینیم زیرا نور گسیل شده از آنها توسط گرانش بازپس کشیده می‌شود. میچل آنها را ستارگان تاریک نامید و اینک سیاهچاله خوانده می‌شوند.

اندیشه ستارگان تاریک میچل بر پایه فیزیک نیوتنی بود که زمان را مطلق و صرفنظر از هر رویدادی، جاری و رونده می‌پنداشت. از این‌رو آنها خللی بر توانایی ما در پیش‌بینی آینده، در تصویر کلاسیک نیوتنی وارد نمی‌آوردند، اما در نظریه نسبیت عام که اجسام توده‌ای را خم‌کننده فضازمان می‌دانست، وضع بسیار فرق می‌کرد.

در سال ۱۹۱۶ ، در زمان کوتاهی پس از فرمول‌بندی نسبیت عام، **کارل شوارتز شیلد** (Karl Schwarzschild) (که در جنگ جهانی اول به فاصله کمی پس از بیماری در جبهه روسیه درگذشت) برای معادلات میدانی آن نظریه پاسخی یافت که سیاهچاله‌ای را نشان می‌داد. برای سالها آنچه شوارتز شیلد یافته بود، درک نشد یا اهمیت آن شناخته نگردید. آینشتین هرگز به سیاهچاله‌ها باور نداشت و بیشتر هواداران کهنه‌اندیش نسبیت عام، با او همداستان بودند. یادم می‌آید که به پاریس رفتم تا درباره نویابی خود سمیناری برگزار کنم. این کشف حاکی از آن بود که بر پایه نظریه کوانتومی، سیاهچاله‌ها یکسره سیاه نیستند. این سمینار با ناکامیابی روبه‌رو شد زیرا در آن زمان تقریباً کسی در پاریس به سیاهچاله‌ها باور نداشت. فرانسویها احساس می‌کردند که این نام و ترجمه فرانسوی آن Trou noir دلالتهای مشکوک جنسی داشت و می‌بایست با astre occlu یا «ستاره پنهان» عوض شود. اما نه این و نه دیگر نامهای پیشنهادی، تخیل مردمان را همانند واژه سیاهچاله فتح نکرد. این واژه را نخستین‌بار **جان ارچیبالد ویلر** (John Archibald Wheeler) فیزیکدان آمریکایی که

سیاهچاله شوارتز چیلد

در سال ۱۹۱۶، ستاره‌شناس آلمانی به‌نام کارل شوارتز چیلد، پاسخی برای نظریه نسبیت آنیشتین یافت که نشانگر سیاهچاله کروی بود. کار شوارتز چیلد یک پیامد شگفت‌آور نسبیت عام را آشکار ساخت. او نشان داد که اگر جرم ستاره‌ای در ناحیه به اندازه کافی کوچک متمرکز شود، میدان گرانشی در سطح ستاره چنان نیرومند می‌شود که حتی نور یارای گریز از آن را ندارد. این چیزی است که اکنون سیاهچاله می‌نامیم، ناحیه‌ای از فضازمان که با آنچه که افق رویداد می‌نامیم، محدود شده است و امکان ندارد از آن، چیزی از جمله نور به ناظری دوردست برسد.

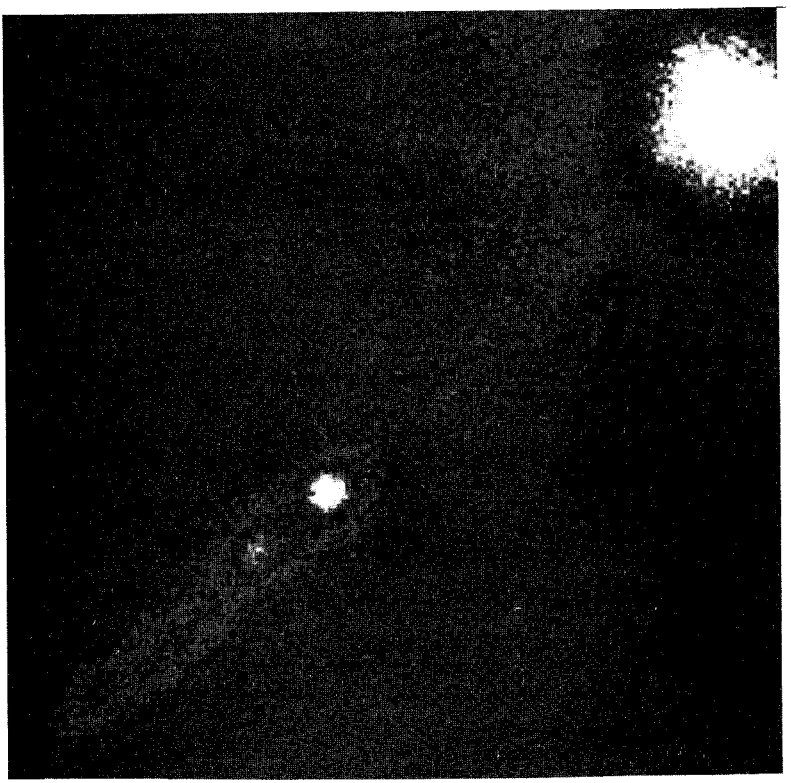
برای زمانی دراز، بیشتر فیزیکدانها که آینشتین نیز در میانشان بود، تردید داشتند که آیا چنین پیکربندی غیرعادی ماده، هرگز بتواند در جهان واقعی روی دهد. اما اکنون می‌دانیم که هرگاه ستاره ناچرخان به اندازه کافی سنگینی، هر اندازه که شکل و ساختار درونیش پیچیده باشد، سوخت هسته‌ای خود را به پایان رساند، به ناچار فرو خواهد پاشید و سیاهچاله کاملاً کروی شوارتز چیلد زاده خواهد شد. شعاع (R) افق رویداد سیاهچاله تنها به جرمش بستگی دارد و با این فرمول نشان داده می‌شود:

$$R = \frac{2GM}{c^2}$$

در این فرمول (c) نشانگر سرعت نور، (G) نشانگر ثابت نیوتنی، و (M) نشانگر جرم سیاهچاله است. برای نمونه، سیاهچاله‌ای به جرم خورشید، شعاعش تنها دو مایل خواهد بود!

الهامبخش بسیاری از پژوهشهای نوین در این زمینه بود، پیشنهاد کرد.

اکتشاف اخترنماها در ۱۹۶۳ موجی از پژوهشهای نظری را درباره سیاهچاله‌ها و کوششهایی برای رصد کردن آنها برانگیخت (شکل ۴ ـ ۱۰). تصویری که پدیدار گردید به شرح زیر است. تاریخ



(شکل ۴ ـ ۱۰)

اخترنمای 3C273 نخستین چشمه رادیویی ستاره وش که کشف شد، توان زیادی را در ناحیه‌ای کوچک تولید می‌کند. به نظر می‌رسد تنها ساز و کاری که چنین تابندگی زیاد را موجب می‌گردد، فرو افتادن ماده درون سیاهچاله‌ای باشد.

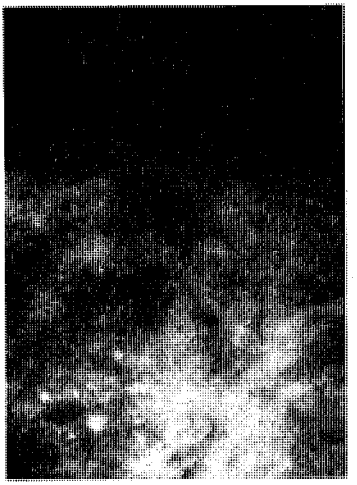
جان ویلر

جان آرچیبالد ویلر در ۱۹۱۱ در جکسون ویل فلوریدا زاده شد. در ۱۹۳۳ به خاطر پژوهش روی پراکندگی نور توسط اتم هلیوم، از دانشگاه جانز هاپکینز دکترا گرفت. در ۱۹۳۸ با فیزیکدان دانمارکی نیلزبور (Niels Bohr) روی نظریه شکافت هسته‌ای کار کرد. پس از آن ویلر به همراه دانشجوی فارغ‌التحصیل خود ریچارد فینمن به مطالعه الکترودینامیک روی آورد، اما چندی بعد آمریکا در جنگ دوم جهانی وارد شد و هر دو به پروژه منهتن پیوستند.

در نخستین سالهای دهه پنجاه، ویلر با الهام از پژوهش رابرت اوپنهایمر (Robert Openheimer) در سال ۱۹۳۹، روی فروپاشی گرانشی ستاره توده‌ای، به نظریه نسبیت عام آینشتین روی آورد. در آن زمان بیشتر فیزیکدانان مشغول مطالعه فیزیک هسته‌ای بودند و نسبیت عام به راستی چندان مربوط به جهان فیزیکی انگاشته نمی‌شد. اما ویلر تقریباً دست تنها، با پژوهشها و آموزشهایش در کلاس اول نسبیت در پرینستون صحنه را عوض کرد.

بعدها، در سال ۱۹۶۹ وی اصطلاح سیاهچاله را برای حالت فرو پاشیده ماده به کار برد، حال آنکه تنها گروه اندکی آن را واقعی می‌دانستند. او با الهام از پژوهش ورنر اسرائیل (Werner Israel)، گمان زد که سیاهچاله‌ها مو ندارند، یعنی حالت فرو پاشیده هر ستاره توده‌ای ناچرخانی، در واقع می‌توانست با پاسخ شوارتزچیلد توصیف گردد.

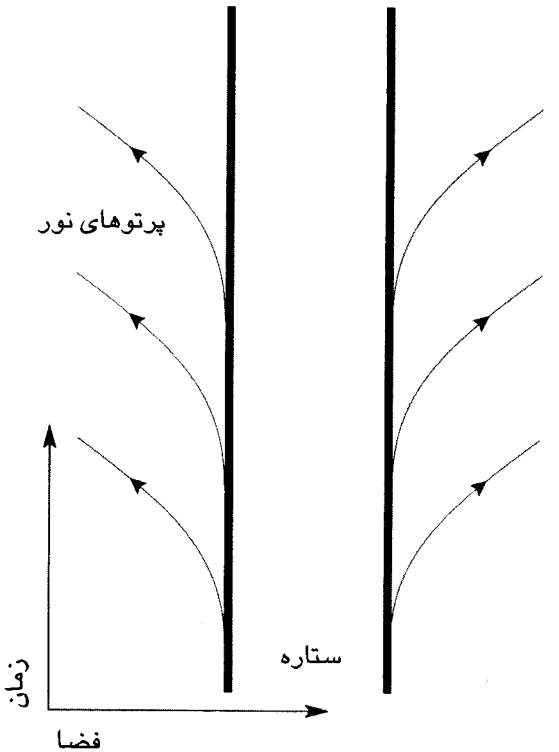
ستاره‌ای به جرم بیست برابر جرم خورشید را در نظر بگیرید. چنین ستارگانی همچون ستارگان میغوارهٔ اوریون (Orion) از ابرهای گاز پدید می‌آیند (شکل ۴ ــ ۱۱). هنگامی که ابرهای گاز زیر گرانش خودشان



(شکل ۴ ــ ۱۱)
ستارگان در ابرهای گاز و غبار شکل می‌گیرند مانند سحابی اوریون

فشرده و کوچک می‌شوند، دمایشان بالا می‌رود و سرانجام چنان داغ می‌شوند تا واکنش همجوشی هسته‌ای که هیدروژن را به هلیوم تبدیل می‌کند، آغاز می‌شود. گرمای به‌دست آمده از این فرایند، فشاری ایجاد می‌کند که گرانش ستاره را خنثی و از کوچک شدنِ بیشتر آن جلوگیری می‌نماید. ستاره برای زمان درازی در این حالت می‌ماند، هیدروژن می‌سوزاند و به فضا نور می‌تاباند.

میدان گرانشی ستاره بر مسیر نوری که از آن بیرون می‌آید اثر می‌گذارد. می‌توان نموداری کشید که زمان، محور عمودی و فاصله از مرکز ستاره، محور افقی باشد (شکل ۴ ــ ۱۲). در این نمودار سطح ستاره با دو خط عمودی نشان داده می‌شود، در هر سوی مرکز یک خط.



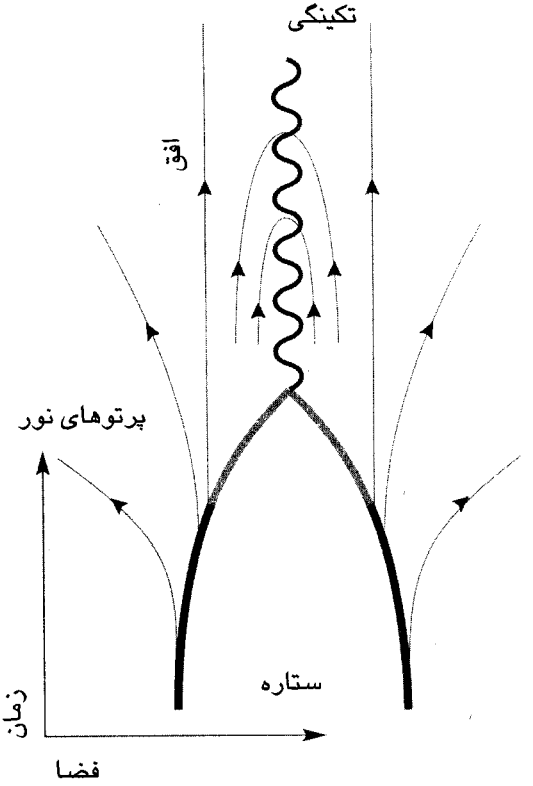
(شکل ۴ ــ ۱۲)

فضازمان پیرامون ستاره‌ای که هنوز فرو نپاشیده است. پرتوهای نور می‌توانند از سطح ستاره (خطوط عمودی) بگریزند. پرتوهای نور در دور دستها نسبت به خط عمود زاویه ۴۵ درجه دارند اما نزدیک ستاره، خمیدگی فضازمان توسط جرم ستاره موجب می‌گردد که پرتوهای نور زاویه کوچکتری نسبت به خط عمود داشته باشند.

می‌توان واحد زمان را ثانیه و واحد فاصله را ثانیه نوری ـ فاصله‌ای که نور در یک ثانیه می‌پیماید ـ گرفت. در این صورت سرعت نور ۱ است یعنی یک ثانیه نوری در ثانیه. یعنی در فاصله بسیار دور از ستاره و میدان گرانشیش، مسیر نور در نمودار، خطی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور عمودی است، اما در نزدیکی ستاره، خمیدگی فضازمان ناشی از جرم ستاره مسیر نور را تغییر خواهد داد و موجب خواهد شد که زاویه‌اش نسبت به محور عمودی کوچکتر گردد.

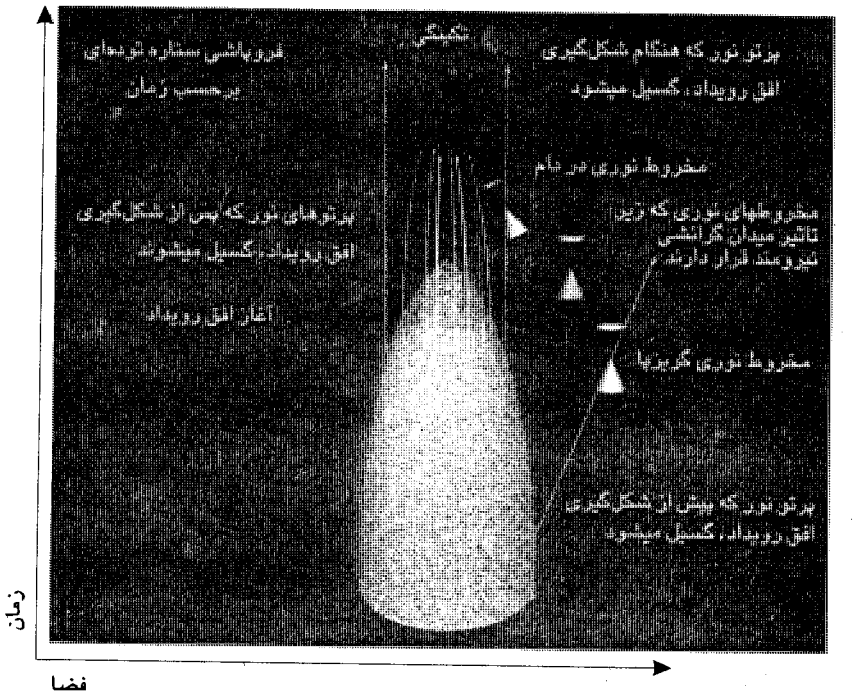
ستارگان توده‌ای، هیدروژن خود را بسیار سریعتر از خورشید خواهند سوزاند و به هلیوم تبدیل خواهند کرد. یعنی ظرف چند صد میلیون سال هیدروژنشان به پایان می‌رسد. سپس چنین ستارگانی با بحران روبه‌رو می‌شوند. آنها می‌توانند هلیوم‌شان را بسوزانند و عناصر سنگین‌تری چون کربن و اکسیژن تولید کنند، اما این واکنشهای هسته‌ای، انرژی چندانی رها نمی‌سازد، پس ستارگان گرما و فشار گرمایی را که گرانش را خنثی می‌کرد، از دست می‌دهند. بنابراین شروع می‌کنند به کوچک شدن. اگر جرمشان بیش از دو برابر خورشید باشد، فشار هرگز برای جلوگیری از انقباض کافی نیست. آنها فرو می‌پاشند و اندازه‌شان به صفر و چگالیشان به بی‌نهایت می‌رسد و آنچه را تکینگی نام دارد، تشکیل می‌دهند (شکل ۴ ـ ۱۳). در نمودار زمان برحسب فاصله از مرکز، همچنان که ستاره منقبض می‌شود، زاویه پرتوهای نوری که از سطح ستاره می‌تابند، نسبت به محور عمودی کوچک و کوچکتر می‌شود.

هنگامی که شعاع ستاره به مقدار بزنگاهیِ معینی می‌رسد، مسیر نور در دیاگرام به موازات محور عمودی می‌شود و این به معنای آن است که نور در فاصله ثابتی از مرکز ستاره درجا زده و هرگز مجال گریز نخواهد یافت.



(شکل ۴ ــ ۱۳)

اگر ستاره نرو بپاشد (خطوط کلفت در نقطه‌ای به هم می‌رسند) خمیدگی چندان زیاد می‌شود که پرتوهای نور در نزدیک سطح آن، به‌سوی داخل میل می‌کنند. سیاهچاله‌ای زاده می‌شود، یعنی ناحیه‌ای از فضازمان که نور یارای گریز از آن را ندارد.

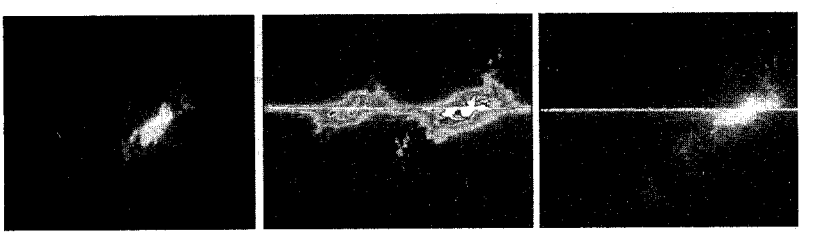


پرتوهای نوری که یارای گریز از سیاهچاله را ندارند اما در فاصله‌ای ثابت از مرکز امتداد می‌یابند، افق یا مرز بیرونی سیاهچاله را پدید می‌آورند.

این مسیر بزنگاهی نور، سطحی را به‌نام افق رویداد جارو خواهد کرد که ناحیه‌ای از فضازمان را که نور یارای گریز از آن را دارد، از ناحیه‌ای که مجال گریز ندارد، جدا می‌کند. هر پرتو نوری که از ستاره تابیده شود، پس از گذشت از افق رویداد، به دست خمیدگی فضازمان به درون بازپس کشیده می‌شود. ستاره در شمار یکی از ستارگان تاریک میچل، یا آن‌گونه که اینک می‌گوییم، سیاهچاله‌ها، درخواهد آمد.

اگر نوری از سیاهچاله بیرون نمی‌آید، چگونه می‌توان آن را آشکار ساخت؟ پاسخ آن است که کششی که سیاهچاله بر همسایگانش اعمال می‌کند با کششی که پیش از فروپاشی اعمال می‌کرد، برابر است. اگر خورشید بدون از دست دادن جرمش، تبدیل به سیاهچاله می‌شد، سیاره‌ها همانند گذشته بر گرد او می‌چرخیدند.

بنابراین یک راه جستجوی سیاهچاله آن است که دنبال ماده‌ای در حال گردش پیرامون چیزی توده‌ای، فشرده و نادیدنی بگردیم. تعدادی از این منظومه‌ها مشاهده شده‌اند. شاید مهمترین آنها سیاهچاله‌های غول‌آسایی هستند در مرکز کهکشانها و اخترنماها (شکل ۴ ـ ۱۵).



(شکل ۴ ـ ۱۵)

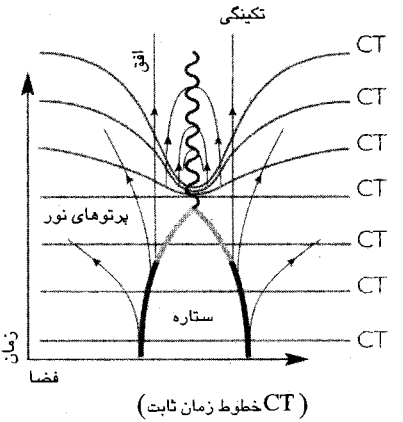
سیاهچاله‌ای در مرکز یک کهکشان

چپ: کهکشان NGC4151 که توسط دوربین سیاره‌ای پهن میدان، نمایان شده است.

مرکز: خط افقی که از میان تصویر می‌گذرد ناشی از نوری است که توسط سیاهچاله مرکز کهکشان ۴۱۵۱ تولید شده است.

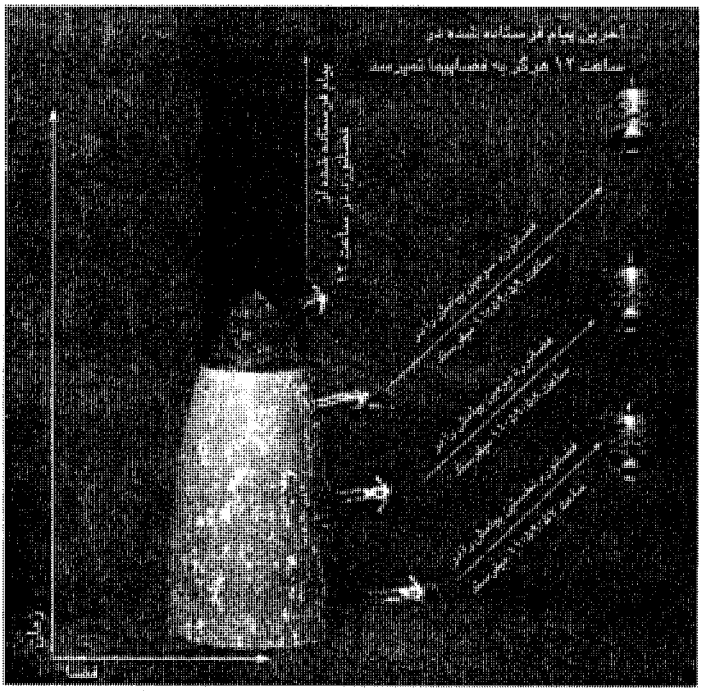
راست: این تصویر سرعت گسیل‌های اکسیژن را نشان می‌دهد. همه گواهها بیانگر آن است که NGC4151 سیاهچاله‌ای به بزرگی یکصد میلیون برابر جرم خورشید دارد.

خواص سیاهچاله‌هایی که تاکنون مورد بحث قرار گرفته‌اند، دشواریهای بزرگی برای جبرگرایی به‌وجود نمی‌آوردند. زمان برای فضانوردی که درون سیاهچاله می‌افتد و به تکینگی برخورد می‌کند، به پایان می‌رسد. اما در نسبیت عام اندازه‌گیری زمان در نرخ‌ها و جاهای مختلف مجاز است. پس می‌توان ساعت مچی فضانورد را تندتر تنظیم کرد به گونه‌ای که هنگام نزدیک شدن به تکینگی، بازه زمانی نامحدودی را ثبت کند. در نمودار زمان برحسب فاصله (شکل ۴ ـ ۱۴)، رویه‌های



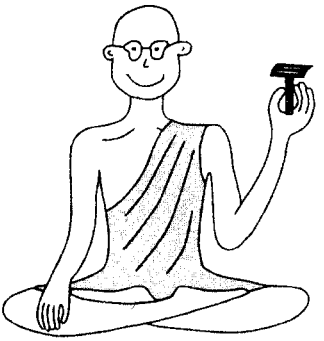
(شکل ۴ ـ ۱۴)

مقادیر ثابت این زمان نوین، همگی در مرکز و زیر نقطه‌ای که تکینگی پدیدار شد، مجتمع می‌شوند. اما آنها با اندازه‌گیری معمولیِ زمان در فضازمانِ نسبتاً تختِ دور از سیاهچاله، سازگارند. می‌توان این زمان را در معادله شرودینگر به‌کار برد و به شرط دانستن شرایط آغازین معادله، تابع موج را برای زمانهای سپسین محاسبه کرد. پس هنوز جبرگرایی درست



تصویر بالا فضانوردی را نشان می‌داد که بر ستاره‌ای در حال فروپاشی در زمان ۱۱:۵۹:۵۷ فرود می‌آید و به آن می‌پیوندد. در همان حال، شعاع ستاره کوچک می‌شود و از مقدار بحرانیش کمتر می‌گردد. در این نقطه گرانش ستاره چندان نیرومند است که هیچ علامت و پیامی یارای گریز از آن را ندارد. او در فاصله‌های زمانی معین پیامهایی را از ساعت مچی خودش به فضاپیمایی که گرد ستاره می‌چرخد، می‌فرستد. کسی که دورادور به ستاره می‌نگرد هرگز شاهد گذر او از افق رویداد و ورود به سیاهچاله نخواهد بود. به‌جای آن، ستاره، بیرون شعاع بحرانیش در حال درجا زدن، و ساعت روی سطح ستاره کندتر و سرانجام ایستا به نظر خواهد رسید.

دمای سیاهچاله



سیاهچاله چونان جسمی داغ با دمای (T) که تنها به جرمش وابسته است، تابش می‌کند. به سخن دقیقتر دمای یادشده با فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$T = \frac{hc^3}{8\pi kGM}$$

در این فرمول (c) نمایانگر سرعت نور، h ثابت پلانک، (G) ثابت گرانشی نیوتن و (k) ثابت بولتزمن است.

سرانجام (M) جرم سیاهچاله است، پس هرچه سیاهچاله‌ای کوچکتر باشد، دمایش بیشتر است. این فرمول نشان می‌دهد که دمای سیاهچاله‌ای با جرمی چند برابر جرم خورشید، تنها حدود یک میلیونیوم درجه بالای صفر مطلق است.

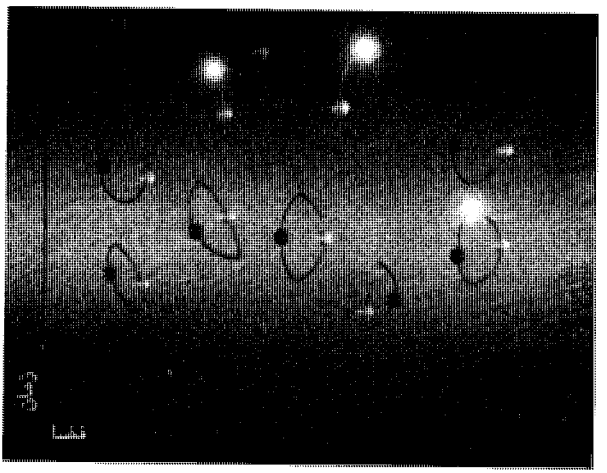
نتیجه بی‌موبی

است. اما گفتنی است که در زمانهای واپسین، بخشی از تابع موج در سیاهچاله قرار دارد و به وسیله هیچ ناظر بیرونی، مشاهده نمی‌شود. از این‌رو ناظری که حواسش جمع است تا درون سیاهچاله نیفتد، نمی‌تواند معادله شرودینگر را واپس برگرداند و تابع موج را در زمانهای اولیه محاسبه کند. برای این منظور او باید بر آن بخش از تابع موج که درون سیاهچاله است و دربرگیرندهٔ اطلاعاتی درباره آنچه درون سیاهچاله افتاده است، آگاه باشد. این اطلاعات به‌طور بالقوه بسیار زیاد است زیرا

سیاهچاله با جرم و میزان گردش مفروض می‌تواند از شمار بزرگی از مجموعه‌هایِ مختلفِ ذرات درست شده باشد؛ یک سیاهچاله به ماهیت جسمی که از فرو پاشیش تشکیل شده است، وابسته نیست. **جان ویلر** این نتیجه را چنین بیان می‌کرد «سیاهچاله مو ندارد.» این موضوع بدگمانی فرانسویها را تأیید می‌نمود.

هنگامی که من کشف کردم سیاهچاله‌ها کاملاً سیاه نیستند، جبرگرایی دچار مشکل شد. همان‌گونه که در بخش ۲ دیدیم، نظریه کوانتومی بر آن است که میدانها حتی در آنچه خلأ نام دارد هم نمی‌توانند دقیقاً صفر باشند. چنانچه میدانها صفر باشند، هم مقدار یا موقعیت و هم آهنگ تغییر یا سرعت دقیقاً صفر است. این نقض اصل عدم‌قطعیت است که می‌گوید موقعیت و سرعت هر دو نمی‌توانند خوش تعریف باشند. همه میدانها در عوض باید مقداری از آنچه افت و خیزهای خلأ نام دارد، داشته باشند (همان‌گونه که پاندول بخش ۲ می‌بایست افت و خیزهایی در نقطه صفر داشته باشد). افت و خیزهای خلأ را می‌توان به چندین روش تفسیر کرد که به نظر متفاوت می‌رسند ولی به راستی از نظر ریاضی هم‌ارزند. از دیدگاه اثبات‌گرایی، می‌توان آزادانه هر تصویری را که برای حل مسئله مورد نظر سودمندتر است، برگزید. در این مورد، افت و خیزهای خلأ را چونان جفت ذرات مجازی می‌توان انگاشت که در نقطه‌ای از فضازمان با یکدیگر پدیدار می‌شوند، از هم جدا می‌شوند، و با یکدیگر بازمی‌گردند و یکدیگر را نابود می‌سازند. «مجازی» از آن‌روست که این ذرات را نمی‌توان مستقیماً مشاهده کرد، اما تأثیرات غیرمستقیمشان را می‌توان اندازه گرفت و با دقت چشمگیری اندازه‌گیریها با پیش‌بینی‌های نظری سازگار است (شکل ۴ ـ ۱۶).

اگر سیاهچاله‌ای وجود داشته باشد، یک عضو این جفت ذرات ممکن است در سیاهچاله بیفتد و دیگری آزادانه به بی‌نهایت بگریزد

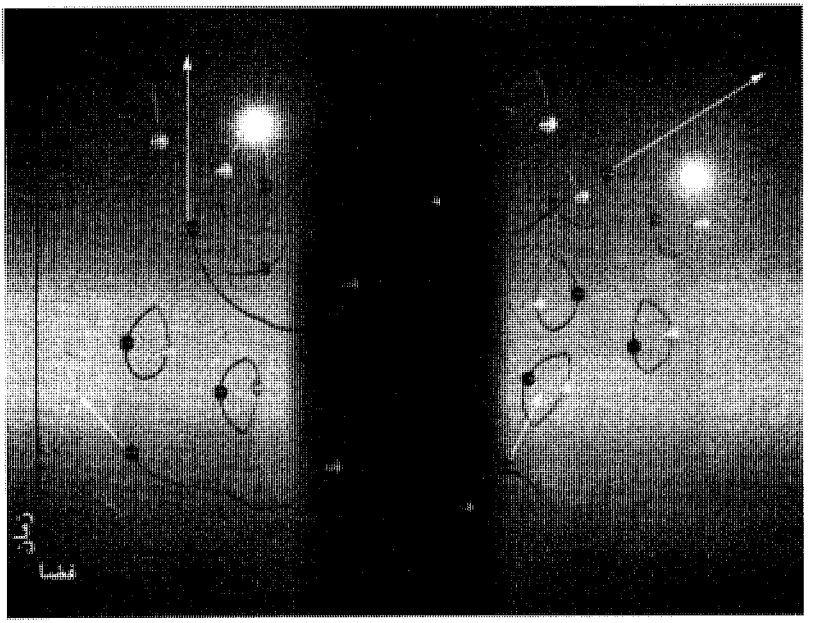


(شکل ۴ ـ ۱۶)
در فضای خالی جفت ذرات پدیدار می‌شوند، زمانی کوتاه به موجودیت خود ادامه می‌دهند و سپس یکدیگر را نابود می‌کنند.

(شکل ۴ ـ ۱۷). ذره گریزپا برای ناظری در دوردستها همچون تابشی از سیاهچاله پدیدار می‌شود. طیف سیاهچاله دقیقاً همان است که از یک جسم داغ انتظار می‌رود، با دمایی متناسب با میدان گرانشی روی افق ـ مرز ـ سیاهچاله. به دیگر سخن، دمای یک سیاهچاله وابسته به اندازه آن است.

سیاهچاله‌ای با جرمی چند برابر خورشید دمایی برابر با یک میلیونیوم درجه بالای صفر مطلق دارد و سیاهچاله بزرگتر دمایش حتی کمتر از این است.

بنابراین هر تابش کوانتومی از چنین سیاهچاله‌هایی، در تابش ۲/۷



(شکل ۴ ــ ۱۷)

ذرات مجازی، در نزدیکی افق رویداد یک سیاهچاله، پدیدار می‌شوند و یکدیگر را نابود می‌سازند.

یکی از ذره‌ها درون سیاهچاله می‌افتد و ذره دیگر می‌گریزد. از بیرون افق رویداد، به نظر می‌رسد سیاهچاله در حال تابش ذرات گریز پاست.

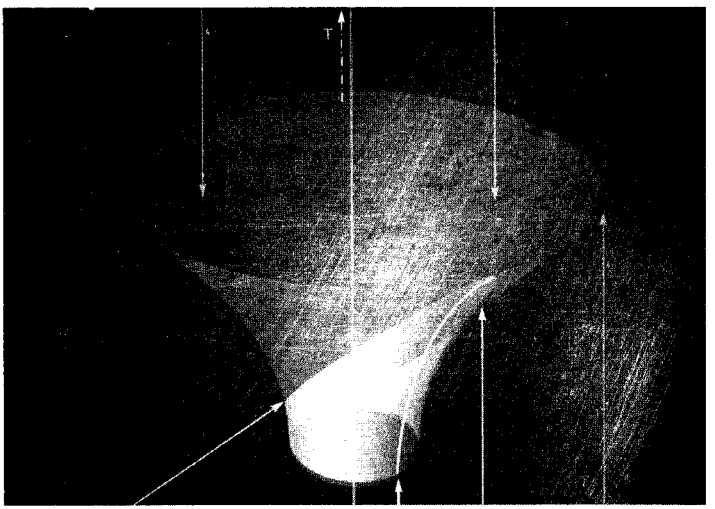
درجهٔ برجای مانده از انفجار بزرگ داغ ــ تابش زمینه کیهانی که در بخش ۲ از آن سخن گفتیم ــ یکسره غرق خواهد شد. می‌توان تابش سیاهچاله‌های بسیار کوچکتر و داغتر را آشکار ساخت، اما به نظر می‌رسد پیرامون ما شمار زیادی از آنها یافت نمی‌شود که باعث تأسف

است. زیرا اگر چنین می‌شد، جایزه نوبل از آن من می‌گردید. اما گواه مشاهده‌ایِ غیرمستقیمی برای این تابش یافت می‌شود و آن گواه از جهان اولیه به ما می‌رسد. همان‌گونه که در بخش ۳ دیدیم، پنداشته می‌شود که جهان در نخستین روزهای تاریخش، دورانی تورمی را از سر گذرانده است و در آن با نرخ فزآینده‌ای گسترش یافته است. گسترش این دوران چنان پرشتاب و سریع رخ داد که فاصله برخی چیزها از ما بسیار دورتر از آن شد که نورشان بتواند به ما برسد؛ جهان بس شتابان و بسیار زیاد گسترش یافت و در همان حال نور به سوی ما سفر می‌کرد. از این‌رو افقی در جهان وجود دارد که همانند افق یک سیاهچاله، ناحیه‌ای را که نور می‌تواند به ما برسد از ناحیه‌ای که نور یارای رسیدن به ما را ندارد، جدا می‌کند (شکل ۴ ـ ۱۸).

دلایل بسیار مشابهی نشان می‌دهد که از این افق نیز، همچون افق یک سیاهچاله باید تابش گرمایی وجود داشته باشد. دانستیم که در تابش گرمایی، باید انتظار یک طیف نمودگر از افت و خیز چگالی را داشته باشیم. در این مورد، افت و خیزهای چگالی همگام با جهان گسترش یافته‌اند. هنگامی که مقیاس طولی آنها از اندازه افق رویداد بیشتر شد، منجمد می‌گردند به گونه‌ای که امروز می‌توانیم آنها را به‌عنوان تغییرات کوچک دمای تابش زمینه کیهانی که از روزگاران جهان نخستین برجای مانده است، مشاهده نماییم. مشاهده آن تغییرات با پیش‌بینی‌های افت و خیزهای گرمایی، با دقت قابل ملاحظه‌ای سازگار است.

حتی اگر گواه مشاهده‌ای، برای تابش سیاهچاله تا اندازه‌ای غیرمستقیم باشد، هر کس که مسئله را بررسی کرده، بر آن باور است که تابش سیاهچاله باید رخ دهد تا با دیگر نظریه‌های ما که به‌طور

رویدادهایی که ناظر هرگز نخواهد دید



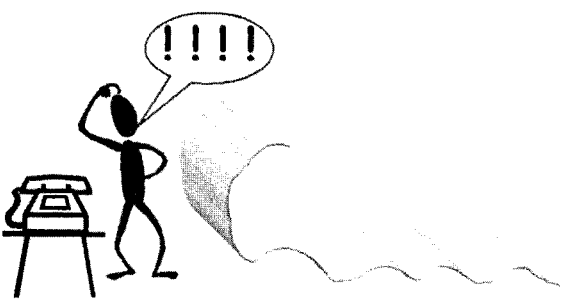
(شکل ۴ ــ ۱۸)

راه‌حل دوسیتر (de Sitter) برای معادلات میدانی نسبیت عام، جهانی را نشان می‌دهد که به گونه‌ای تورمی گسترش می‌یابد. در نمودار، زمان با محور عمودی به سوی بالا، و اندازه جهان با محور افقی نشان داده می‌شود. فاصله‌های فضایی چنان پر شتاب افزایش می‌یابند که نور کهکشانهای دوردست هرگز به ما نمی‌رسند، و افق رویدادی وجود دارد که همانند آنچه در یک سیاهچاله است، مرز ناحیه‌ای می‌باشد که یارای مشاهده‌اش را نداریم.

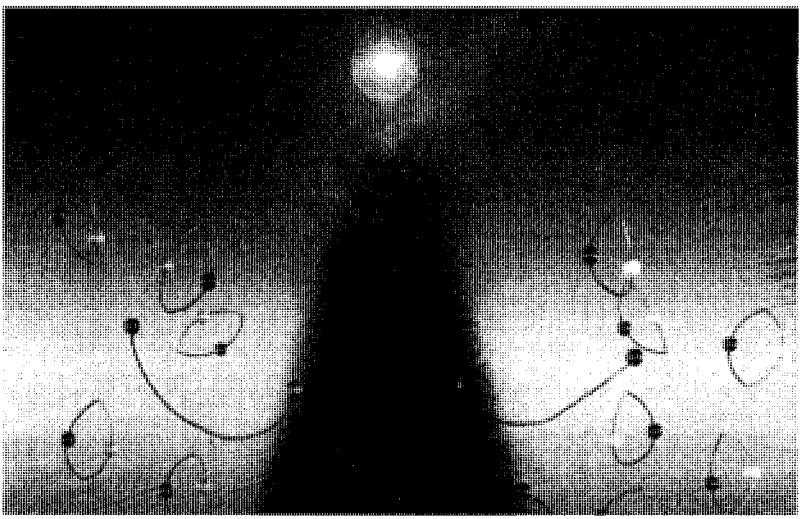
مشاهده‌ای آزمایش شده‌اند، جور و سازگار درآید. این واقعیت، پیامدهای مهمی را برای جبرگرایی دربر دارد. تابش سیاهچاله موجب انتقال انرژی از آن و به معنای از دست دادن جرم و کوچکتر شدن آن

است. این به نوبه خود یعنی دمای سیاهچاله و نرخ تابش افزایش خواهد یافت. سرانجام جرم سیاهچاله به صفر خواهد رسید. ما نمی‌دانیم رخدادهای این لحظه را چگونه محاسبه کنیم، اما به نظر می‌رسد تنها نتیجه طبیعی و منطقی، ناپدید شدن کامل سیاهچاله باشد. پس آن‌گاه بر سر بخشی از تابع موج که درون سیاهچاله است و اطلاعات مربوط به آنچه درون سیاهچاله افتاده است، چه خواهد آمد؟ نخستین گمان آن است که این بخش از تابع موج و اطلاعاتی را که دربر دارد، با ناپدید شدن فرجامین سیاهچاله، پدیدار می‌گردد. اما هربار که قبض تلفن به دستمان می‌رسد، متوجه می‌شویم که اطلاعات، مجانی منتقل نمی‌شود.

انتقال اطلاعات نیاز به انرژی دارد و در واپسین‌دم‌های سیاهچاله، انرژی بسیار اندکی برایش برجای می‌ماند. تنها راه موجه انتقال اطلاعات به بیرون، آن است که به جای منتظر واپسین‌دم‌ها شدن، اطلاعات به‌طور پیوسته همراه تابش پدیدار گردند. اما مطابق تصویری که نشانگر سقوط یک عضو جفت ذرات مجازی درون سیاهچاله و گریز دیگری است، نمی‌توان انتظار داشت که عضو فراری با عضو ساقط شده پیوند داشته باشد، یا اطلاعاتی درباره عضو ساقط شده با خود حمل کند. پس به نظر



می‌رسد تنها پاسخ، گم شدن اطلاعات بخشی از تابع موج درون سیاهچاله باشد (شکل ۴ ـ ۱۹).



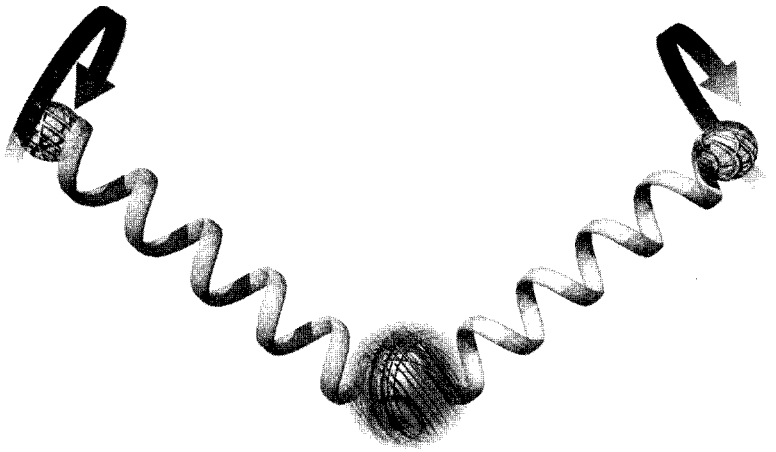
(شکل ۴ ـ ۱۹)
انرژی مثبتی که با تابش گرمایی از افق سیاهچاله بیرون می‌آید، جرم آن را می‌کاهد. دمای سیاهچاله با کاهش جرم، بالا می‌رود و میزان تابش آن افزایش می‌یابد، پس باز شتابانتر جرم خود را از دست می‌دهد. نمی‌دانیم هنگامی که جرم فوق‌العاده کوچک شد، چه روی خواهد داد اما محتملترین رویداد ناپدید شدن یکسره سیاهچاله است.

گم شدن اینچنینیِ اطلاعات، پیامدهای مهمی را برای جبرگرایی دربر دارد. نخست آنکه دانستیم که حتی اگر پس از ناپدید شدن سیاهچاله، تابع موج را در دست داشته باشیم، نمی‌توان معادله شرودینگر را به عقب بازگرداند و تابع موج را پیش از شکل‌گیری

سیاهچاله محاسبه نمود. تابع موج پیش از شکل‌گیری سیاهچاله، تا اندازه‌ای وابسته است به بخشی کوچک از تابع موج که در سیاهچاله گم شد. ما عادت کرده‌ایم بپنداریم که می‌توان برگذشته دقیقاً آگاهی یافت. اما اگر اطلاعات درون سیاهچاله گم شود، این امر دیگر صادق نیست. هر چیزی می‌توانسته است رخ دهد.

به‌طور کلی افرادی همچون اختربینان و کسانی که با آنها مشورت می‌کنند، پیش‌بینی آینده را از بازگویی گذشته بیشتر دوست دارند. در نگاه نخست شاید به نظر برسد که گم شدن بخشی از تابع موج درون سیاهچاله ما را از پیش‌بینی تابع موج بیرون آن بازنمی‌دارد. اما همچنان که بررسی آزمایش خیالی پیشنهادی آینشتین، بوریس پودولسکی (Boris Podolsky) و ناتان روزن (Nathan Rosen) در سالهای ۱۹۳۰ نشان می‌دهد، معلوم می‌گردد که اطلاعات گم شده جلو چنین پیش‌بینی را می‌گیرد.

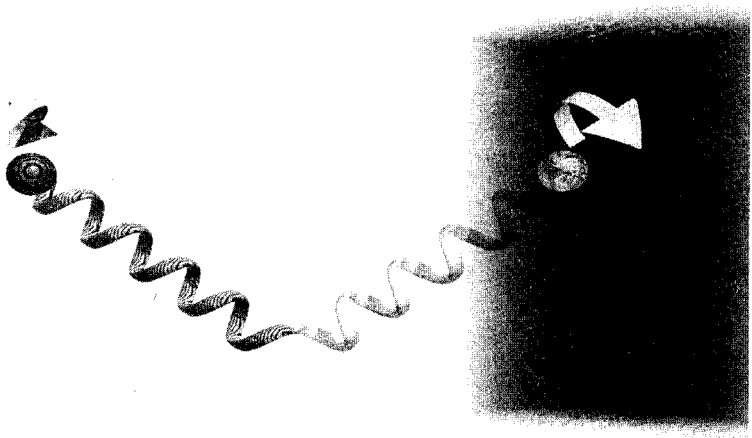
تصور کنید که یک اتم رادیواکتیو وا می‌پاشد و دو ذره را در دو جهت مخالف و با اسپین‌های متضاد گسیل می‌کند. ناظری که تنها بر یک ذره می‌نگرد نمی‌تواند پیش‌بینی کند که آیا به راست یا به چپ می‌چرخد. اما چنانچه او با سنجش ذره، چرخش را به راست ارزیابی کند، می‌تواند با قطعیت پیش‌بینی کند که ذره دیگر به چپ می‌چرخد و برعکس (شکل ۴ ـ ۲۰). به باور آینشتین، این ثابت می‌کند که نظریه کوانتومی خنده‌دار است: ذره دیگر شاید به آن سوی کهکشان رسیده باشد در عین حال بی‌درنگ و آناً می‌توان جهت چرخش آن را دانست. با این همه، حالا دیگر بیشتر دانشمندان باور دارند که در این مورد، آینشتین دچار اشتباه بود و نه نظریه کوانتومی. آزمایش تخیلی آینشتین، پودولسکی و روزن نشان نمی‌دهد که می‌توان اطلاعات را سریعتر از نور فرستاد، که بخش



(شکل ۴ ـ ۲۰)
در آزمایش تخیلی آینشتین، پودولسکی و روزن ناظری که اسپین یک ذره را سنجیده است، جهت اسپین ذره دوم را خواهد دانست.

خنده‌دار آن است. کسی نمی‌تواند ***انتخاب کند*** که ذره متعلق به او مورد سنجش قرارگیرد و در حال چرخیدن به راست ارزیابی شود، پس کسی نمی‌تواند تجویز نماید که ذرهٔ ناظر دوردست باید در حال چرخش به چپ باشد.

درواقع، این آزمایش خیالی دقیقاً همان چیزی است که در مورد تابش سیاهچاله اتفاق می‌افتد. جفت ذره مجازی، یک تابع موج خواهد داشت که پیش‌بینی می‌کند که دو عضو، قطعاً اسپین‌های متضاد دارند (شکل ۴ ـ ۲۱). آنچه می‌خواهیم انجام دهیم پیش‌بینی اسپین و تابع



(شکل ۴ ـ ۲۱)
یک جفت ذرات مجازی، تابع موجی دارد که پیش‌بینی می‌کند هر دو ذره اسپین‌های متضاد خواهند داشت. اما اگر یک ذره درون سیاهچاله بیفتد پیش‌بینی اسپین ذره برجای مانده، با قطعیت امکان‌پذیر نیست.

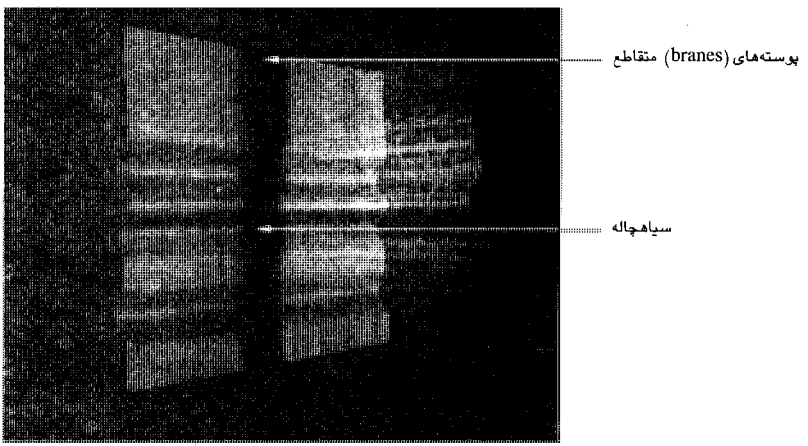
موج ذره گریزان است، و به شرطی عملی است که بتوانیم ذره‌ای را که سقوط کرده است مشاهده کنیم. اما آن ذره هم‌اکنون درون سیاهچاله است و اسپین و تابع موجش را نمی‌توان سنجید. از این‌رو امکان ندارد اسپین یا تابع موج ذره گریزان را پیش‌بینی کرد. ذره گریزان می‌تواند اسپین‌های گوناگون و تابعهای موج گوناگون با احتمالات مختلف داشته باشد، اما اسپین یا تابع موج یگانه ندارد. پس به نظر می‌رسد که توان ما در پیش‌بینی آینده کاهش بیشتری خواهد یافت. اندیشه کلاسیک لاپلاس که

پیش‌بینی موقعیتها و سرعتهای ذرات را امکان‌پذیر می‌دانست، می‌بایست اصلاح می‌شد، زیرا اصل عدم‌قطعیت نشان داد که نمی‌توان موقعیتها و سرعتها را به دقت اندازه گرفت. اما هنوز می‌شد تابع موج را سنجید و با کاربست معادله شرودینگر، آینده تابع موج را پیش‌بینی کرد. این امر پیش‌بینی قطعیِ آمیزه‌ای از موقعیت و سرعت را ــ که نیمی از چیزی است که بر پایه اندیشه‌های لاپلاس می‌توان پیش‌بینی کرد ــ مجاز می‌دانست. می‌توان با قطعیت پیش‌بینی کرد که ذرات، اسپین‌های متضاد دارند، اما اگر یک ذره درون سیاهچاله بیفتد، درباره ذره برجای مانده هیچ پیش‌بینی قطعی نمی‌توان کرد. یعنی بیرون سیاهچاله **هیچ** اندازه‌گیری را نمی‌توان با قطعیت پیش‌بینی کرد: توانایی ما در انجام پیش‌بینی‌های قطعی به صفر خواهد رسید. پس شاید اختربینی و طالع‌شناسی در پیشگویی آینده چندان بدتر از قانونهای علم نباشد.

بسیاری از فیزیکدانان این کاهش جبرگرایی را نمی‌پسندند و از این‌رو پیشنهاد کردند که اطلاعات مربوط به چیزهای درون می‌توانند به گونه‌ای از سیاهچاله بیرون بیایند. این پیشنهاد سالها صرفاً امیدی نیک‌اندیشانه به یافتن راهی برای نجات اطلاعات به‌شمار می‌رفت. اما در ۱۹۹۶ **اندرو استرومینگر** (Andrew Strominger) و **کامران وفا** (Cumrun Vafa) گامی مهم به جلو برداشتند. آنها سیاهچاله را همچون موجودی ساخته شده از شماری P-brane در نظر گرفتند.

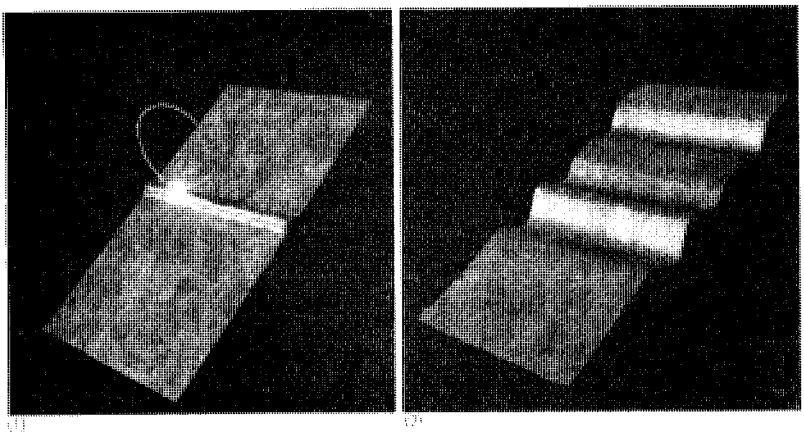
به یاد داشته باشید که یک راه فکر کردن به P-brane ها آن است که آنها را همچون رویه‌هایی در نظر آوریم که از میان سه بعد فضا و نیز از میان هفت بعد اضافی که درکشان نمی‌کنیم، حرکت می‌کنند (شکل ۴ ــ ۲۲). در پاره‌ای موارد می‌توان نشان داد که شمار امواج روی P-brane

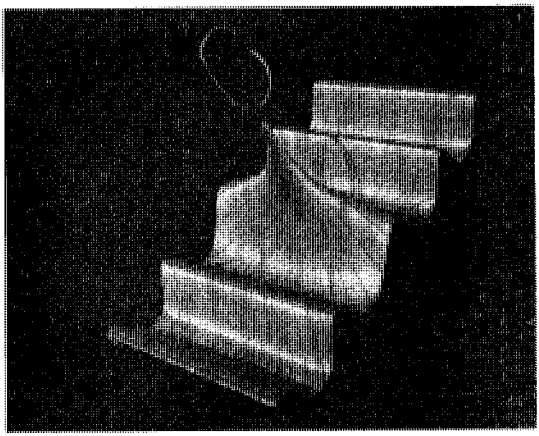
ها برابر است با مقدار اطلاعاتی که انتظار داریم سیاهچاله دارا باشد. اگر ذرات به P-brane ها برخورد کنند، موجهای اضافی را روی brane ها ایجاد می‌کنند. به همین سان اگر امواجی که در جهتهای مختلف روی P-brane ها حرکت می‌کنند در نقطه‌ای گرد آیند، می‌توانند قله‌ای بسیار بزرگ به‌وجود آورند. در اثر این قله بزرگ، تکه‌ای از P-brane می‌شکند و به‌عنوان یک ذره خارج می‌شود. پس P-brane ها می‌توانند همچون سیاهچاله‌ها ذراتی را جذب یا گسیل نمایند (شکل ۴ ـ ۲۳).



(شکل ۴ ـ ۲۲)

می‌توان سیاهچاله‌ها را چونان تقاطعهای p-brane ها در ابعاد اضافی فضازمان پنداشت. اطلاعات درباره حالتهای درونی سیاهچاله‌ها به‌صورت موجهایی روی p-brane ها ذخیره خواهد شد.





(شکل ۴ ــ ۲۳)

می‌توان ذره‌ای را که درون سیاهچاله می‌افتد چونان حلقه بسته ریسمانی پنداشت که به یک p-brane (۱) برخورد می‌کند. این امر امواجی را در p-brane برخواهد انگیخت (۲). موجها گرد هم می‌آیند و موجب می‌شوند بخشی از p-brane چون ریسمانی بسته جدا شود (۳). این ذره‌ای خواهد بود که توسط سیاهچاله گسیل می‌گردد.

می‌توان به P-brane ها به‌عنوان نظریه‌ای مؤثر نگریست؛ یعنی در حالی که لازم نیست باور داشته باشیم که واقعاً رویه‌های کوچکی وجود دارند که در فضازمان تخت حرکت می‌کنند، سیاهچاله‌ها می‌توانند چنان رفتار کنند که گویی از چنین رویه‌هایی ساخته شده‌اند. همانند آب که از میلیاردها میلیارد ملکول H_2O با اندرکنشهای پیچیده ساخته شده است. اما سیالی هموار و یکنواخت، مدلی بسیار خوب و مؤثر برای آب محسوب می‌شود. مدل ریاضی سیاهچاله‌ها به‌عنوان ساختاری متشکل از P-brane ها، نتایجی به دست می‌دهد که مشابه تصویر زوج ذره مجازی که پیشتر توصیف کردیم، می‌باشد. از این‌رو از دیدگاه اثبات‌گرایی، این مدل، دست‌کم برای برخی دسته‌های سیاهچاله‌ها، به همان اندازه خوب است. برای این دسته‌ها، پیش‌بینی نرخ گسیل، توسط مدل P-brane دقیقاً برابر است با آنچه مدل زوج ذرات مجازی پیش‌بینی می‌کند. اما یک تفاوت مهم وجود دارد: در این مدل، به خاطر موجهای روی P-brane ها، اطلاعات مربوط به آنچه درون سیاهچاله سقوط می‌کند؛ در تابع موج ذخیره خواهد شد. P-brane ها چونان رویه‌هایی در فضازمانِ تخت در نظر گرفته می‌شوند و هم از این‌رو، زمان به همواری به جلو جریان می‌یابد، مسیرهای نور خمیده نخواهند شد و اطلاعات موجود در امواج گم نخواهند گردید. در عوض، اطلاعات سرانجام به صورت تابشِ P-brane ها، از سیاهچاله بیرون خواهد آمد. پس بر پایه مدلِ P-brane ، می‌توانیم معادله شرودینگر را برای محاسبه تابع موج در زمانهای بعد به‌کار گیریم. چیزی گم نمی‌شود و زمان به همواری امتداد خواهد یافت. ما جبرگرایی کاملی به معنای کوانتومی خواهیم داشت.

پس کدام یک از این تصویرها درست است؟ آیا بخشی از تابع موج

در سیاهچاله گم می‌شود، یا همان‌گونه که مدلِ P-brane پیشنهاد می‌کند همه اطلاعات دوباره بیرون می‌آید؟ این یکی از برجسته‌ترین پرسشهای فیزیک نظری امروز است. بسیاری بر آن باورند که پژوهش اخیر نشان

می‌دهد اطلاعات گم نمی‌شود. جهان آسوده و امن و پیش‌بینی‌پذیر است و چیز غیرمنتظره‌ای رخ نمی‌دهد. اما معلوم نیست. اگر نظریه نسبیت عام آینشتین را جدی بگیریم، باید احتمال درهم پیچیده شدن و گره خوردن فضازمان و گم شدن اطلاعات در لابه‌لای آن را بپذیریم. هنگامی که کشتی فضایی اینترپرایز[1] (Enterprise) از سوراخ کرم گذر کرد، اتفاق غیرمنتظره‌ای رخ داد. من می‌دانم چه شد چون در فضاپیما بودم و داشتم با نیوتن، آینشتین و دیتا (Data) پوکر بازی می‌کردم. یک سورپریز بزرگ هم داشتم. ببینید روی زانویم چه کسی نشسته است.

با سپاس از پارامونت
پیشتازان فضا، نسل بعد

۱. فضاپیمای اینترپرایز در مجموعهٔ تلویزیونی پیشتازان فضا (مترجم).

بخش پنجم

نگاهداری و حفاظت از گذشته

آیا سفر کردن در زمان شدنی است؟
آیا تمدنی پیشرفته می‌تواند به گذشته برگردد و آن را تغییر دهد؟

کیپ ثورن

وست و همکار من کیپ ثورن (Kip Thorne) که چندبار با او شرط بسته‌ام، کسی نیست که راه و رسم پذیرفته شده‌ای را در فیزیک، تنها به خاطر آنکه دیگران آن را پذیرفته‌اند، در پیش گیرد. از این‌رو او دلیری آن را داشت که نخستین دانشمند جدی باشد که درباره سفر در زمان، همچون یک امکان عملی به گفتگو بپردازد.

نظریه‌پردازی درباره سفر در زمان دشوار است. خطر آن هست که فریاد برآورند بیت‌المال را برای چیزی چنین پوچ و خنده‌آور دور ریخته‌اند، یا آنکه پژوهش برای مقاصد نظامی طبقه‌بندی شود. از اینها گذشته، در برابر کسی که ماشین زمان دارد، چگونه می‌توانیم خود را محافظت کنیم؟ آنها می‌توانند تاریخ را تغییر داده و بر جهان فرمان

از آنجاکه استیون. و. هاوکینگ (که شرط‌بندی پیشین در این باره را با عدم درخواست عمومیت باخته است) همچنان سخت باور دارد که تکینگیهای برهنه ناممکن هستند و باید بر پایه قوانین فیزیک کلاسیک مردود شمرده شوند.

و از آنجاکه جان پرسکیل و کیپ ثورن (که شرط‌بندی پیشین را برده‌اند) همچنان تکینگیهای برهنه را چونان اشیاء کوانتومی می‌نگرند که ممکن است وجود داشته و توسط افقها برهنه شده باشند تا همه گیتی آنها را ببینند.

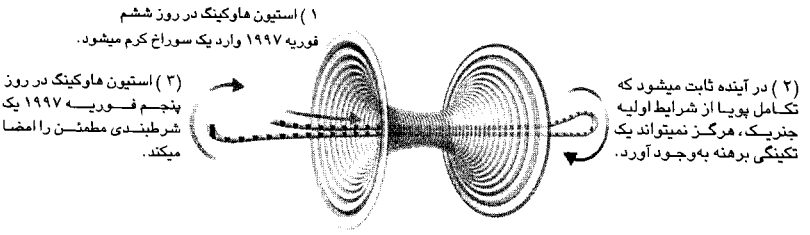
پس هاوکینگ شرط‌بندی زیر را پیشنهاد می‌کند و پرسکیل / ثورن می‌پذیرند که

هنگامی که هر شکلی از ماده یا میدان کلاسیک که توان تبدیل شدن به تکینگی در فضازمان تخت را ندارد، از طریق معادلات کلاسیک آینشتین به نسبیت عام پیوند داده شود، آنگاه یک تکامل پویا از شرایط اولیه جنریک (یعنی از یک مجموعه باز از داده‌های اولیه) هرگز نمی‌تواند یک تکینگی برهنه به‌وجود آورد.

بازنده به برنده جامگانی برای پوشاندن خود جایزه خواهد داد که پیامی مناسب و به راستی بزرگدارنده بر رویش دوخته شده باشد.

استیون. و. هاوکینگ جان .پ. پرسکیل و کیپ س. ثورن

پاسادنا، کالیفرنیا، ۵ فوریه ۱۹۹۷



برانند. تنها گروه اندکی از ما چنان سر نترسی دارند که روی موضوعی که در حلقه فیزیکدانان از نظر سیاسی بس نادرست انگاشته می‌شود، کار کنند. ما با به‌کار بستن واژه‌های فنی که سفر در زمان را رمزگذاری می‌کند، موضوع را پنهان می‌کنیم.

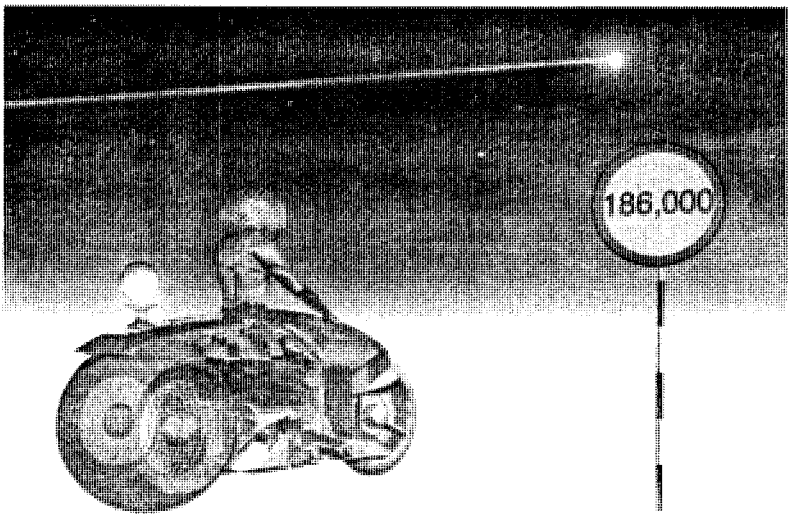
پایه همه گفتگوهای مدرن درباره سفر در زمان، نظریه نسبیت عام آینشتین است. همانگونه که در بخشهای پیشین دیدیم، معادلات آینشتین با توصیف چگونگی خمیده شدن و پیچ و تاب خوردن فضا و زمان توسط ماده و انرژی در جهان، فضا و زمان را پویا ساختند. در نسبیت عام، زمان شخصی هر کسی، آنچنان که با ساعت مچیش اندازه‌گیری می‌شود، درست همانند نظریه نیوتنی یا در فضازمان تختِ نسبیت خاص، همواره افزایش می‌یابد. اما اینک این امکان هست که فضازمان چندان پیچ و تاب بخورد که فضاپیمایی به پرواز درآید و پیش از به پرواز درآمدنش، به پایگاه خود بازگردد (شکل ۵ ـ ۱).

فضاپیما روی یک حلقه بزرگ سفر میکند
که از میان فضازمان پیچ و تابدار میگذرد.

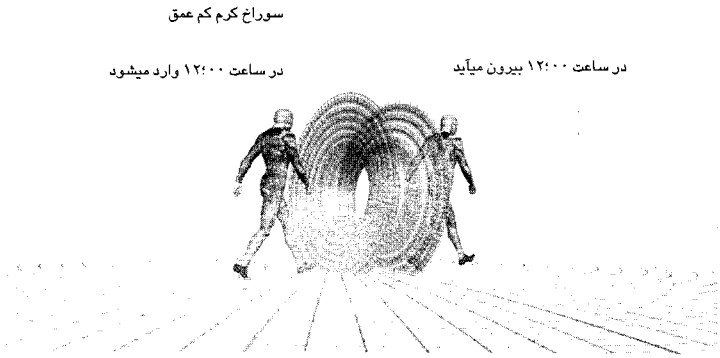
فضاپیما در ساعت ۱۲:۰۰
به پرواز درمیآید

فضاپیما در ساعت ۱۱:۴۵،
یعنی ۱۵ دقیقه پیش از زمانی
که باید به پرواز درآید، باز میگردد.

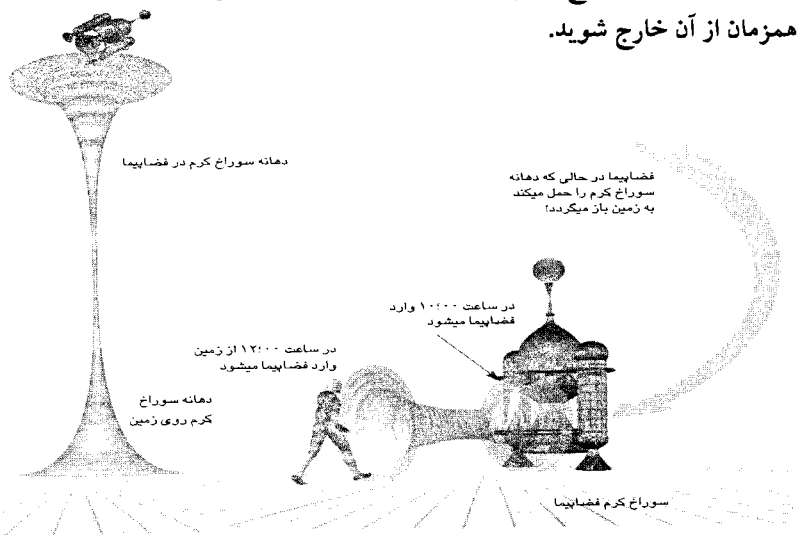
(شکل ۵ ــ ۱)



یک راه امکان‌پذیر بودن این رویداد، سوراخهای کرم‌اند (یعنی لوله‌هایی در فضازمان که نواحی متفاوت فضازمان را به هم می‌پیوندند و در بخش ۴ درباره آنها سخن گفته شد)، البته اگر وجود داشته باشند. شما فضاپیمایتان را به یک دهانه سوراخ کرم می‌رانید و از دهانه دیگر در فضا و زمانی متفاوت بیرون می‌آیید (شکل ۵ ـ ۲).



(۱) اگر دو طرف سوراخ کرمی نزدیک یکدیگر باشد، شما می‌توانید وارد آن شوید و همزمان از آن خارج شوید.



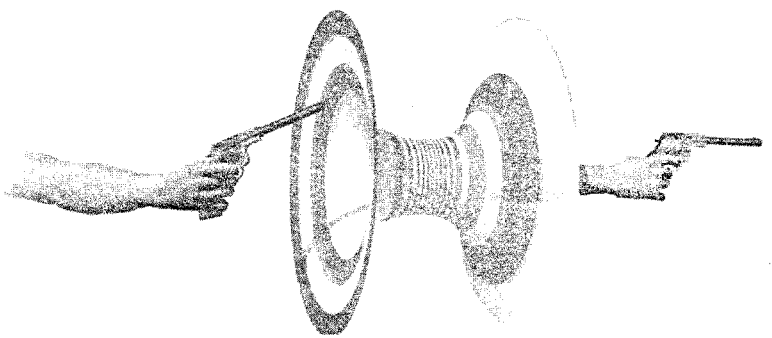
(۲)میتوان پنداشت که فضاپیمایی دهانه یک سوراخ کرم را در یک سفر طولانی با خود حمل کند در حالی که دهانه دیگر سوراخ کرم در زمین باقی بماند.

(۳)به خاطر اثر پارادوکس دوقلوها، زمانی که فضاپیما بازگردد، برای دهانه‌ای که حمل کرده است، زمان کمتری نسبت به دهانه‌ای که روی زمین باقی مانده، گذشته است .این بدان معناست که اگر شما از دهانه روی زمین وارد شوید، میتوانید از دهانه فضاپیما، زودتر از زمان ورودتان، خارج شوید

(شکل ۵ ــ ۲) ویرایش دوم از پارادوکس دوقلوها

سوراخهای کرم، چنانچه وجود داشته باشند، راه چاره محدودیت سرعت در فضا می‌باشند: دهها هزار سال به درازا می‌کشد که فضاپیمایی با سرعت کمتر از سرعت نور از کهکشان گذر کند. اما می‌توان از میان یک سوراخ کرم گذر کرد و به آن سوی کهکشان سر زد و برای شام برگشت. همچنین اگر سوراخهای کرم وجود داشته باشند می‌توان از آنها سود جست تا پیش از آغاز حرکت به مبدأ بازگردیم. پس شاید به این فکر بیفتید که اصلاً برای جلوگیری از عزیمتتان، موشک را در سکوی پرتاب منفجر کنید. این نگارش دیگری از پارادوکس پدربزرگ است: اگر به گذشته بازگردید و پیش از تولد پدرتان، پدربزرگتان را بکشید، چه خواهد شد؟ (شکل ۵ ـ ۳).

البته تنها اگر باور داشته باشید که هنگام سفر به گذشته، شما در انجام آنچه دلتان می‌خواهد، از اختیار برخوردارید، داستان پدربزرگ، پارادوکس است.



(شکل ۵ ـ ۳)
آیا گلوله‌ای که از میان یک سوراخ کرم به سوی زمان پیشتر شلیک می‌شود، می‌تواند به شلیک کننده برخورد نماید؟

ریسمانهای کیهانی

ریسمانهای کیهانی چیزهای دراز و سنگینی هستند که سطح مقطع کوچکی دارند. آنها ممکن است در مراحل آغازین جهان به‌وجود آمده باشند. چون ریسمانهای کیهانی شکل گرفتند، با گسترش جهان، باز هم درازتر شدند و اینک یک ریسمان کیهانی می‌تواند برابر با درازای جهان قابل رؤیت ما باشد.

پیدایش ریسمانهای کیهانی توسط نظریه‌های مدرن ذرات پیشنهاد شد. این نظریه‌ها بر آن هستند که ماده در مراحل داغ آغازین جهان، در یک فاز متقارن، و بسیار همانند آب مایع بود ــ در هر نقطه و در هر جهت یکسان، و نه همچون کریستالهای یخ که ساختاری گسسته دارند.

زمانی که جهان سرد شد، تقارن فاز نخستین، در ناحیه‌های دور به گونه‌های مختلف می‌تواند شکسته شده باشد. در نتیجه ماده کیهانی در آن ناحیه‌ها به حالتهای پایه مختلفی فرو نشست. ریسمانهای کیهانی پیکربندیهای ماده در مرزهای میان این ناحیه‌هاست. از این‌رو شکل‌گیری آنها پیامد اجتناب‌ناپذیر این واقعیت بود که ناحیه‌های مختلف، نمی‌توانستند حالتهای پایه یکسانی داشته باشند.

این نوشتار درگیر یک بحث فلسفی درباره اختیار نمی‌شود. به جای آن، به این موضوع خواهیم پرداخت که آیا قوانین فیزیک اجازه می‌دهند فضازمان چنان پیچ و تاب بردارد که یک جسم ماکروسکوپیک مانند فضاپیما به گذشته خود بازگردد. مطابق نظریه آینشتین، فضاپیما به ناچار با سرعتی کمتر از سرعت محلی نور حرکت می‌کند و از میان فضازمان، در مسیری که مسیر زمان‌وار نامیده می‌شود عبور می‌کند. از این‌رو می‌توان

پرسش را با اصطلاحات فنی فرمول‌بندی کرد: آیا فضازمان، وجود خمهای زمان‌وار بسته را ــ که دوباره و چندباره به نقطه آغاز خود بازمی‌گردند ــ روا می‌دارد؟ من چنین مسیرهایی را «حلقه زمان» خواهم نامید.

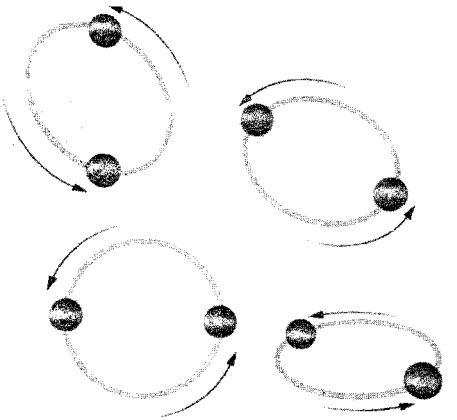
می‌توان کوشید در سه سطح به این پرسش پاسخ داد. نخستین آنها نظریه نسبیت عام آینشتین است که جهان را دارای تاریخچه‌ای خوش‌تعریف و بدون هرگونه عدم قطعیتی می‌انگارد. برای این نظریه کلاسیک، تصویری کامل در دست است. اما همان‌گونه که دیدیم، این نظریه نمی‌تواند یکسره درست باشد، زیرا مشاهده می‌کنیم که ماده در معرض عدم‌قطعیت و افت و خیزهای کوانتومی است.

پس می‌توان پرسش درباره سفر در زمان، را در سطح دوم پیش کشید، در سطح نظریه نیمه‌کلاسیک. در این سطح، می‌اندیشیم که ماده مطابق نظریه کوانتومی با عدم‌قطعیت و با افت و خیزهای کوانتومی رفتار می‌کند، اما فضازمان خوش تعریف و کلاسیک است. اینجا، تصویر کمتر کامل است اما دست‌کم تا اندازه‌ای می‌دانیم چگونه پیش برویم.

سرانجام، نظریه کامل گرانش کوانتومی است، حال هرچه می‌خواهد باشد. در این نظریه که نه‌تنها ماده بلکه خود زمان و فضا نیز نامتعین و دچار افت و خیزند، حتی روشن نیست چگونه پرسش امکان‌پذیر بودن سفر در زمان مطرح می‌شود. شاید بهترین کاری که می‌توان کرد آن است که بپرسیم مردمانی که در ناحیه‌هایی زیست می‌کنند که آنجا فضازمان، کمابیش کلاسیک و فاقد عدم‌قطعیت است، اندازه‌گیریهایشان را چگونه تفسیر می‌کنند. آیا آنان می‌پندارند که سفر در زمان در ناحیه‌هایی با گرانش شدید و افت و خیزهای زیاد کوانتومی

انجام پذیرفته است؟

اگر از نظریه کلاسیک بیاغازیم، نه فضازمانِ تختِ نسبیتِ خاص (نسبیت بی‌گرانش) و نه فضازمانهای خمیده که در آغاز شناخته شده بودند سفر در زمان را روا نمی‌دانستند. از این‌رو هنگامی که در سال ۱۹۴۹، **کورت گودل** (Kurt Gödel) صاحب قضیه گودل، فضازمانی کشف کرد که جهانی بود پر از ماده چرخان که از هر نقطه آن حلقه زمانی می‌گذشت (شکل ۵ ــ ۴)، آینشتین بسیار شگفت‌زده شد.



(شکل ۵ ــ ۴)
آیا فضازمان، خمهای زمان‌وار بسته را که بارها و بارها به نقطه آغاز خود باز می‌گردند مجاز می‌شمارد؟

پاسخ گودل به یک ثابت کیهانی نیاز داشت که در طبیعت شاید باشد و شاید هم نباشد. اما پاسخهای دیگر، اساساً بدون ثابت کیهانی به‌دست آمده بودند. یک مورد به‌ویژه جالب، دو ریسمان کیهانی‌اند که با سرعت زیاد از یکدیگر می‌گذرند.

ریسمانهای کیهانی را نباید با ریسمانهای نظریه ریسمانی درهم

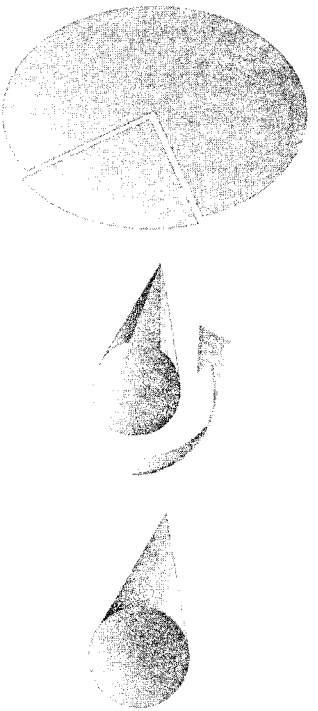
قضیه ناتمامی گودل

در سال ۱۹۳۱ ریاضیدانی به‌نام کورت گودل قضیه ناتمامی پرآوازه‌اش را درباره سرشت ریاضیات به اثبات رساند. قضیه ناتمامی می‌گوید در هر سیستم صوری اصول موضوعه، مانند ریاضیات، همواره مسائلی باقی می‌مانند که بر پایه اصول موضوعه‌ای که سیستم را تعریف می‌کنند، نه می‌توانند ثابت و نه رد شوند. به دیگر سخن گودل نشان داد که مسائلی وجود دارند که با هیچ مجموعه‌ای از مقررات یا رویه‌ها قابل حل نیستند.

قضیه گودل محدودیتهایی بنیادین بر ریاضیات گذاشت و همچون ضربه‌ای بزرگ بر جامعه علمی وارد آمد زیرا باور گسترده‌ای که ریاضیات را نظامی همساز و کامل بر پایه یک تک بنیاد منطقی می‌دانست، واژگون ساخت. قضیه گودل، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، و ناممکن بودن عملی پیگیری تکامل حتی در مورد نظامی جبرگرا که آشوب‌زده می‌شود، هسته مرکزی مجموعهٔ محدودیتهای دانش علمی را تشکیل می‌دهند که تنها در سده بیستم، بشریت به درکشان دست یازید.

آمیخت، اگرچه با یکدیگر کاملاً نامربوط نیستند. آنها چیزهایی هستند که درازا دارند اما سطح مقطع‌شان کوچک است. پدیدارشدنشان در برخی از نظریه‌های ذرات بنیادی پیش‌بینی شده است. فضازمان در بیرون یک تک‌ریسمان کیهانی، تخت است. اما از این فضازمان تخت، یک گوه کنده شده است که نوک تیزش روی ریسمان قرار دارد و همانند یک مخروط است: یک دایره بزرگ کاغذی را بگیرید و قطاعی همچون برش کیک از آن ببرید، گوه‌ای که نوکش در مرکز دایره است. سپس گوه بریده شده را

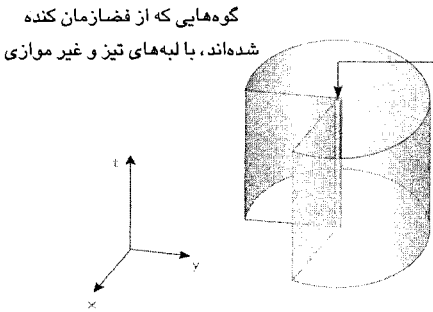
دور بیندازید و لبه‌های بخش باقیمانده را به هم بچسبانید تا یک مخروط به‌دست آید. این نشانگر فضازمانی است که ریسمان کیهانی را دربر می‌گیرد (شکل ۵ ـ ۵).



(شکل ۵ ـ ۵)

به یاد داشته باشید که سطح مخروط از همان صفحه کاغذی به‌دست آمده است که گوه‌اش را بریدیم، پس هنوز می‌توان بجز نوکش، آن را تخت دانست. وجود خمیدگی در نوک را می‌توان به‌صورت زیر تشخیص داد: محیط دایره‌ای که گرداگرد نوک، ترسیم می‌گردد، از محیط دایره‌ای که به همان فاصله از مرکز دایره اصلی صفحه کاغذی رسم می‌شود، کوچکتر است. به دیگر سخن، دایره پیرامون نوک مخروط، کوچکتر از دایره‌ای با شعاع یکسان است که در فضای تخت رسم می‌شود، چرا که یک قطاع از دایره کنده شده است (شکل ۵ ـ ۶).

به همین‌سان، در مورد ریسمان کیهانی، قطعه بریده شده از فضازمان تخت، دایره‌های پیرامون ریسمان را کوچکتر می‌سازد اما زمان یا فاصله‌ها را در طول ریسمان تغییر نمی‌دهد. یعنی فضازمانِ پیرامون یک تک‌ریسمان کیهانی، هیچ حلقه زمانی را دربر نمی‌گیرد و از این‌رو

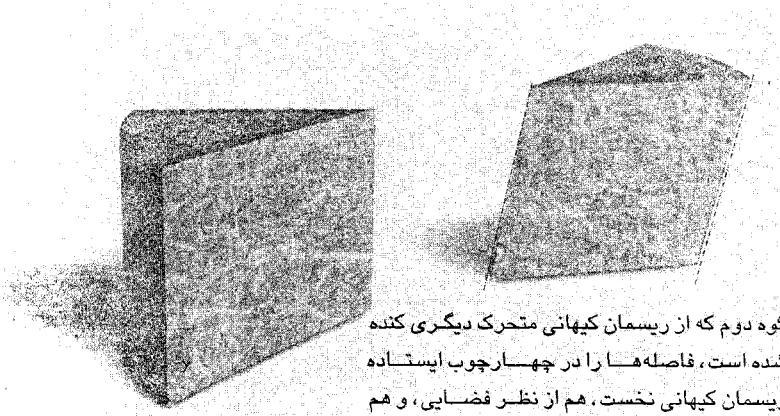


یک گوه برای یک تک ریسمان کیهانی، فاصله‌ها را در چارچوب ایستاده ریسمان، کاهش میدهد ما زمان را دچار تغییر نمیسازد.

(شکل ۵ ــ ۶)

سفر به گذشته امکان‌پذیر نیست. لیکن اگر ریسمان کیهانی دیگری باشد که نسبت به اولی حرکت کند، جهت زمانیش، ترکیبی از جهتهای زمانی و فضایی اولی است. یعنی قطعه گوه‌ای‌شکل که از ریسمان دوم کنده می‌شود، فاصله‌های موجود در بازه‌های فضایی و زمانی را برای ناظری که همراه ریسمان نخست حرکت می‌کند، کوتاهتر می‌سازد (شکل ۵ ــ ۷) اگر سرعت ریسمانهای کیهانی نسبت به یکدیگر، نزدیک سرعت نور باشد، صرفه‌جویی در زمانی که صرف رفتن به گرد هر دو ریسمان می‌شود، می‌تواند چنان زیاد باشد که بازگشت به پیش از آغاز به حرکت، تحقق می‌پذیرد. به دیگر سخن، حلقه‌های زمانی وجود دارند که می‌توان آنها را دنبال کرد و به گذشته سفر نمود.

فضازمان ریسمان کیهانی، ماده‌ای با چگالی انرژی مثبت دربر دارد و با دانش فیزیکی ما سازگار است. اما پیچ و تابی که حلقه‌های زمانی را به‌وجود می‌آورد، تا فضای بی‌کرانه و تا بی‌نهایت در زمان گذشته،



گوه دوم که از ریسمان کیهانی متحرک دیگری کنده شده است، فاصله‌ها را در چهارچوب ایستاده ریسمان کیهانی نخست، هم از نظر فضایی، و هم زمانی، کاهش میدهد

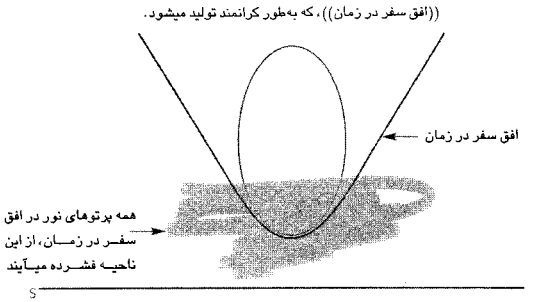
(شکل ۵ ــ ۷)

گسترش می‌یابد. پس این فضازمانها با ویژگی درونی سفر در زمان، آفریده شدند. دلیلی در دست نداریم که باور کنیم که جهان خود ما چنین پیچ و تابدار آفریده شد، و گواه موثقی از بازدیدکنندگانی از آینده نداریم (من بهای چندانی به نظریه توطئه نمی‌دهم که می‌گوید بشقاب‌پرنده (UFO) ها از آینده می‌آیند و دولت آن را می‌داند و آگاهانه آن را پنهان نگه می‌دارد). پس من فرض می‌کنم که در گذشته دور یا دقیقتر بگویم، در گذشتهٔ رویه‌ای در فضازمان که آن را S می‌نامم، حلقه زمانی‌ای وجود نداشته است. آنگاه پرسیده می‌شود: آیا تمدن پیشرفته‌ای توانسته است ماشین زمان بسازد؟ یعنی آیا توانسته است فضازمان آینده S (بالای رویه S در نمودار) را چنان دستکاری کند که حلقه‌های زمانی در ناحیه‌ای

کرانمند پدیدار شوند؟ من از ناحیه‌ای کرانمند سخن می‌گویم زیرا تمدن هر اندازه پیشرفت کند، احتمالاً باز تنها بخش کرانمندی از جهان را می‌تواند به زیر فرمان درآورد.

در علم، یافتن فرمول‌بندی درست از یک مسئله، اغلب کلید حل آن است، و این امر شاهدی بر این مدعاست. برای تعریف مفهوم یک ماشین زمان کرانمند، به سراغ کارهای گذشته خود رفتم. سفر در زمان در ناحیه‌ای از فضازمان ممکن است که حلقه‌های زمانی داشته باشد، یعنی مسیرهایی که با سرعتی کمتر از سرعت نور حرکت می‌کند اما با این همه، به خاطر پیچ و تاب فضازمان به همانجا و همان زمان آغاز حرکت باز می‌گردند. از آنجا که فرض کردم در گذشته دور حلقه‌های زمانی وجود نداشته‌اند، باید آنچه یک «افق» سفر در زمان می‌نامم وجود داشته باشد، مرزی که ناحیه دارای حلقه‌های زمانی را از ناحیه بدون حلقه‌های زمانی جدا می‌سازد (شکل ۵ ـ ۸).

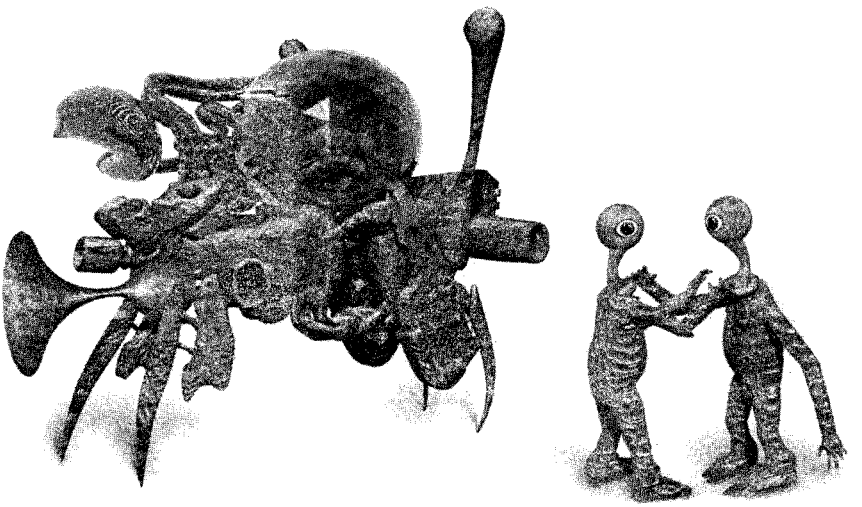
افقهای سفر در زمان، همانند افقهای سیاهچاله‌ها هستند. افق سیاهچاله توسط پرتوهای نوری شکل می‌گیرد که به دشواری از فرو رفتن در سیاهچاله گریخته‌اند. افق سفر در زمان توسط پرتوهای نوری شکل می‌گیرد که در آستانه دیدار و تلاقی با خودشان هستند. سپس آنچه را که یک افق تولید شده کرانمند می‌نامم ـ یعنی افقی که توسط پرتوهای نوری که همگی از یک ناحیه بسته پدیدار می‌شوند ـ همچون معیار و سنجیدار خود برای ماشین زمان در نظر می‌گیریم. به دیگر سخن پرتوهای نوریِ شکل‌دهنده افق سفر در زمان، از بی‌نهایت یا از یک تکینگی نمی‌آیند، بلکه از ناحیه‌ای کرانمند سرچشمه می‌گیرند که حلقه‌های زمانی را دربر دارد، یعنی همان ناحیه‌هایی که تمدن پیشرفته ما قرار است بیافریند.



(شکل ۵ ــ ۸)

حتی پیشرفته‌ترین تمدنها هم تنها می‌توانست فضازمان را در یک ناحیه محدود و کرانمند دچار پیچ و تاب کند. افق سفر در زمان ــ مرز بخشی از فضازمان که می‌توان در آن به گذشته‌ها سفر کرد ــ به‌وسیله پرتوهای نوری شکل می‌گیرد که از ناحیه‌های کرانمند پدیدار می‌شوند.

با پذیرش این تعریف به‌عنوان جای پای یک ماشین زمان، خواهیم توانست ماشینی را به‌کار ببریم که راجز پنروز و من برای بررسی تکینگیها و سیاهچاله‌ها طراحی کردیم. حتی بدون کاربرد معادلات آینشتین، می‌توانم نشان دهم که به‌طور کلی، یک افق ساخته شده کرانمند، پرتوی نوری را دربر دارد که عملاً با خودش دیدار می‌کند، یعنی پرتو نوری که بارها و بارها به یک نقطه بازمی‌گردد. هربار که نور برمی‌گردد، بیشتر و بیشتر به سوی آبی گرایش می‌یابد و تصویرها آبی و آبی‌تر می‌شوند. قله‌های موج یک تپش نور، به یکدیگر نزدیک و نزدیکتر می‌شوند و نور



پس پرسش این است: آیا برخی تمدنهای پیشرفته می‌توانند ماشین زمان بسازند؟

در بازه‌های کوتاه و کوتاهتر زمانیش، دور می‌زند. درواقع، ذره نور، حتی اگر بدون برخورد با یک تکینگی خمشی، در یک ناحیه کرانمند بارها و بارها بگردد، صرفاً تاریخی کرانمند دارد که با سنجهٔ زمانی خودش تعریف می‌شود.

شاید اگر یک ذره نور، تاریخش را در زمانی کرانمند به پایان رساند، مهم به نظر نرسد. اما من می‌توانم ثابت کنم که مسیرهای متحرکی وجود دارند که با سرعتی کمتر از سرعت نور حرکت می‌کنند، و عمری صرفاً کرانمند دارند. اینها می‌توانند تاریخهای ناظرانی باشند که در ناحیه‌ای

کرانمند پیش از افق گیر افتاده‌اند و تندتر و تندتر به گردش خود ادامه می‌دهند تا در مدتی کرانمند به سرعت نور برسند. پس اگر بیگانه زیبارویی در یک بشقاب‌پرنده شما را به ماشین زمانش دعوت کرد، مراقب باشید. شاید درون یکی از این تله تاریخهای تکرارشونده که عمر محدودی دارند، بیفتید (شکل ۵ ـ ۹).

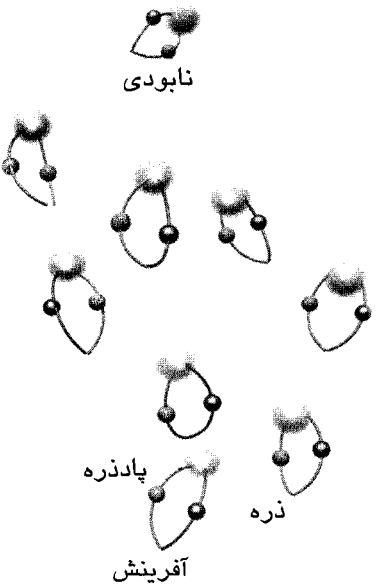
(شکل ۵ ـ ۹)
خطر سفر در زمان

این نتایج به معادلات آینشتین وابسته نیستند، بلکه تنها به آن وابسته‌اند که فضازمان چگونه باید پیچ و تاب بردارد تا در ناحیه‌ای کرانمند حلقه‌های زمانی تولید نماید. اما اینک می‌توان پرسید تمدن پیشرفته چه ماده‌ای را باید به‌کار بگیرد تا فضازمان را پیچ و تاب دهد و ماشین زمانی با اندازه محدود بسازد. آیا این ماده می‌تواند مانند فضازمانِ ریسمان کیهانی که پیشتر توصیف کردم، همه جایش چگالی انرژی مثبت داشته باشد؟ فضازمان ریسمان کیهانی، این الزام مرا که حلقه‌های زمانی

در ناحیه‌ای کرانمند پدیدار شوند، برآورده نساخت. اما شاید کسی بیندیشد این تنها به خاطر درازی نامحدود ریسمانهای کیهانی است. شاید کسی تصور کند که بتواند با استفاده از حلقه‌های کرانمند ریسمان کیهانی، ماشین زمان کرانمندی بسازد و همه جا چگالی انرژی مثبت داشته باشد. بدبختانه باید کسانی مانند کیپ را که می‌خواهند به گذشته بازگردند، ناامید ساخت. با چگالی انرژی مثبت در همه جا نمی‌توان به گذشته بازگشت. می‌توانم ثابت کنم که برای ساختن یک ماشین زمان کرانمند، به انرژی منفی نیاز داریم.

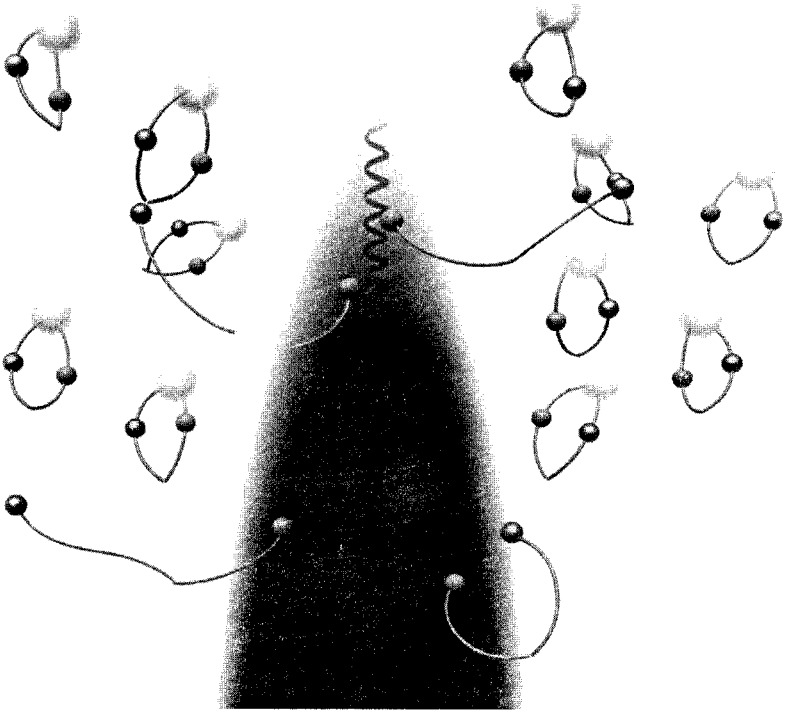
چگالی انرژی در نظریه کلاسیک همواره مثبت است، از این‌رو ماشینهای زمان با اندازه محدود در این سطح کنار گذاشته می‌شوند. اما در نظریه نیمه‌کلاسیک، که رفتار ماده مطابق نظریه کوانتومی و فضازمان خوش تعریف و کلاسیک انگاشته می‌شود، وضعیت فرق می‌کند. همچنان که دیدیم، اصل عدم‌قطعیت نظریه کوانتومی بدان معناست که میدانها همواره، حتی در فضای ظاهراً تهی، افت و خیز دارند و چگالی انرژیشان نامحدود است. پس باید کمیت نامحدودی را کسر کرد تا به چگالی انرژی کرانمندی که در جهان مشاهده می‌کنیم، دست یابیم. این کسرکردن می‌تواند دست‌کم به‌طور موضعی، چگالی انرژی را منفی کند. حتی در فضای تخت، می‌توان حالتهای کوانتومی را یافت که در آن چگالی انرژی به‌طور موضعی منفی است اما انرژی کل مثبت می‌باشد. شاید کسی شگفت‌زده بپرسد آیا این مقادیر منفی واقعاً موجب پیچ و تاب فضازمان به‌گونه‌ای مناسب جهت ساخت یک ماشین زمان کرانمند، می‌شود. به نظر می‌رسد که چنین باید باشد. همان‌گونه که در بخش ۴ دیدیم، افت و خیزهای کوانتومی به معنای آن است که حتی فضای

ظاهراً تهی، پر از جفتهای ذرات مجازی است که با یکدیگر پدیدار می‌شوند، از یکدیگر جدا می‌شوند و سپس به سوی یکدیگر بازمی‌گردند و یکدیگر را نابود می‌سازند (شکل ۵ ــ ۱۰). یکی از جفتهای ذره مجازی



(شکل ۵ ــ ۱۰)
پیش‌بینی اینکه سیاهچاله‌ها تابش می‌کنند و جرم از دست می‌دهند، ایجاب می‌کند که بر پایه نظریه کوانتومی، انرژی منفی در سراسر افق به درون سیاهچاله سرازیر شود. برای آنکه اندازه سیاهچاله کاهش یابد، چگالی انرژی روی افق باید منفی باشد، ویژگی‌ای که برای ساخت ماشین زمان به آن نیاز داریم.

دارای انرژی مثبت و دیگری دارای انرژی منفی است. در حضور یک سیاهچاله، ذره دارای انرژی منفی، ممکن است درون سیاهچاله بیفتد و ذره با انرژی مثبت به بی‌نهایت بگریزد و در آنجا چونان پرتوی که انرژی مثبت را از سیاهچاله حمل می‌کند، پدیدار گردد. ذرات با انرژی منفی که درون سیاهچاله می‌افتند، موجب کاهش وزن و بخار شدن آرام و آهسته سیاهچاله و کوچک شدن اندازه افق آن، می‌شوند (شکل ۵ ــ ۱۱).



(شکل ۵ ـ ۱۱)

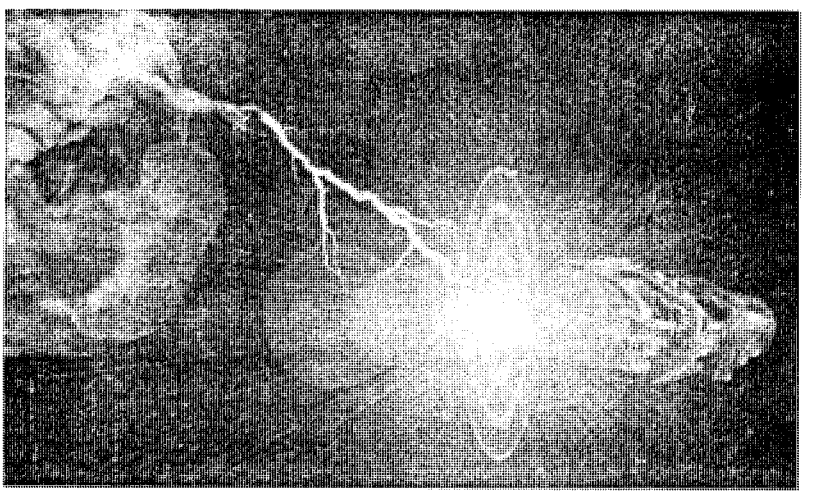
ماده معمولی با چگالی مثبت انرژی، دارای تأثیر گرانشی کششی است و فضازمان را چنان پیچ و تاب می‌دهد که پرتوهای نور به سوی یکدیگر خم می‌شوند همان‌گونه که توپ بر رویه لاستیکی بخش ۲، همیشه گلوله‌های کوچکتر را به سوی خود می‌لغزاند و هرگز دور از خود نمی‌راند.

این بدان معناست که سطح افق یک سیاهچاله در طول زمان تنها افزایش می‌یابد و هرگز کاهش نمی‌یابد. اگر افق سیاهچاله‌ای بخواهد کاهش یابد، چگالی انرژی روی افق باید منفی باشد و فضازمان را چنان پیچ و تاب دهد که موجب دور شدن پرتوهای نور از یکدیگر شود. این را نخستین‌بار، کمی پس اززاده شدن دخترم، هنگامی که به رختخواب می‌رفتم، دریافتم. نمی‌گویم چند سال پیش بود، اما هم‌اکنون یک نوه دارم که پسر است.

نوه من، ویلیام مک کنزی اسمیت

بخار شدن سیاهچاله‌ها نشان می‌دهد که در سطح کوانتومی، چگالی انرژی گاه می‌تواند منفی باشد و فضازمان را در راستا و جهتی پیچ و تاب دهد که برای ساخت ماشین زمان لازم است. از این‌رو می‌توان اندیشید که تمدنی بسیار پیشرفته، ترتیبی می‌دهد که برای ساختن ماشین زمانی که توسط چیزهای ماکروسکوپیک همچون فضاپیما، مورد استفاده قرار می‌گیرد، چگالی انرژی به اندازه کافی منفی باشد. اما تفاوت مهمی است میان افق یک سیاهچاله که توسط پرتوهای نوری که به راه خود ادامه می‌دهند، درست می‌شود، و افق در ماشین زمان که پرتوهای نور بسته‌ای را دربر دارد که همواره دور می‌زنند. یک ذره مجازی که روی چنین مسیر

بسته‌ای حرکت می‌کند، بارها و بارها انرژی تراز پایه‌اش را به یک نقطه باز خواهد گرداند. پس می‌توان انتظار داشت که روی افق ــ یعنی مرز ماشین زمان، ناحیه‌ای که در آن می‌توان به گذشته سفر کرد ــ چگالی انرژی بی‌نهایت باشد. این مطلب از محاسبات روشنی به دست می‌آید، که در چند زمینه به اندازه کافی ساده برای محاسبات دقیق، انجام پذیرفته‌اند. این بدان معناست که اگر کسی یا فضاپیمایی بکوشد از افق بگذرد و درون ماشین زمان برود، با آذرخشی ازمیان برداشته می‌شود (شکل ۵ ــ ۱۲). از این‌رو آینده سفر در زمان، سیاه می‌نماید. آیا می‌توان آن را سپید کورکننده خواند؟



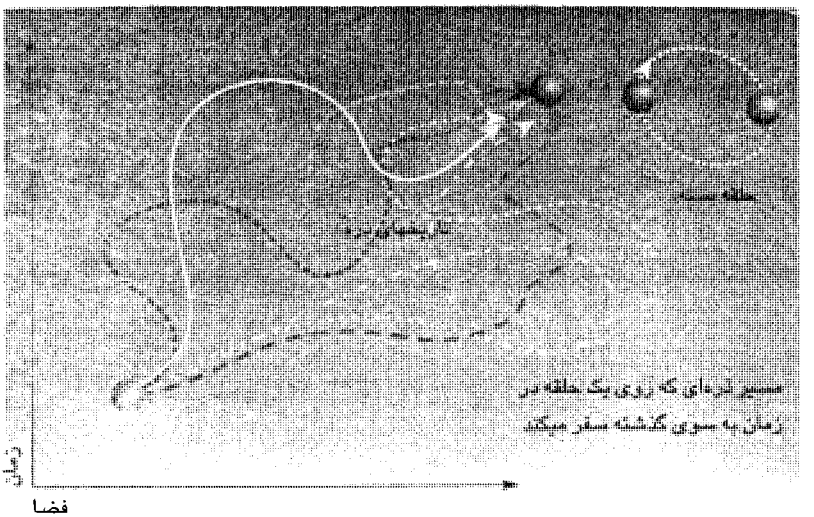
(شکل ۵ ــ ۱۲)
اگر کسی از افق سفر در زمان بگذرد، ممکن است گرفتار آذرخشی شده و سر به نیست گردد.

چگالی انرژی ماده وابسته به حالتی است که در آن می‌باشد، پس امکان دارد تمدنی پیشرفته بتواند به وسیله «انجماد» یا با از میان برداشتن ذرات مجازی که در حلقه بسته‌ای می‌گردند، چگالی انرژی را در مرز ماشین زمان کرانمند سازند. اما روشن نیست که چنین ماشینی پایدار باشد: کمترین آشفتگی، همچون گذر کسی از افق برای سوار شدن به ماشین زمان می‌تواند جریان ذرات مجازی را به راه اندازد و تیر آذرخش از کمان رها شود. فیزیکدانان باید آزادانه و بی‌آنکه کسی به آنان بخندد درباره این پرسش بحث و گفتگو کنند. حتی اگر معلوم شود که سفر در زمان ناشدنی است، مهم است که بدانیم چرا ناشدنی است.

برای دادن پاسخ قطعی به آن پرسش، باید افت و خیزهای کوانتومیِ نه‌تنها میدانهای ماده، بلکه افت و خیزهای کوانتومیِ خود فضازمان را در نظر بگیریم. شاید کسی فکر کند که اینها تا اندازه‌ای موجب ناروشنی و ابهام در مسیرهای پرتوهای نور و درکل مفهوم ترتیب زمانی می‌شوند. به راستی، می‌توان تابش از سیاهچاله‌ها را همچون نشت به بیرون انگاشت، زیرا افت و خیزهای کوانتومیِ فضازمان به معنای آن است که افق به‌طور دقیق تعریف نشده است. از آنجا که هنوز یک نظریه کامل از گرانش کوانتومی نداریم، دشوار بتوان گفت که آثار افت و خیزهای فضازمان چه باید باشد. با این همه، می‌توانیم امیدوار باشیم که نشانگرهایی از جمع تاریخهای فینمن که در فصل ۳ توصیف شد، به‌دست آوریم.

هر تاریخی فضازمانی خمیده است با میدانهای ماده درونش. از آنجا که باید همه تاریخهای ممکن را، و نه آنها که برخی معادلات را برآورده می‌سازند، جمع کنیم، عمل جمع زدن باید شامل فضازمانهایی

شود که به اندازه کافی خمیده‌اند که برای سفر به گذشته مناسب باشند (شکل ۵ ـ ۱۳). پس پرسش این است که چرا سفر در زمان همه جا رخ

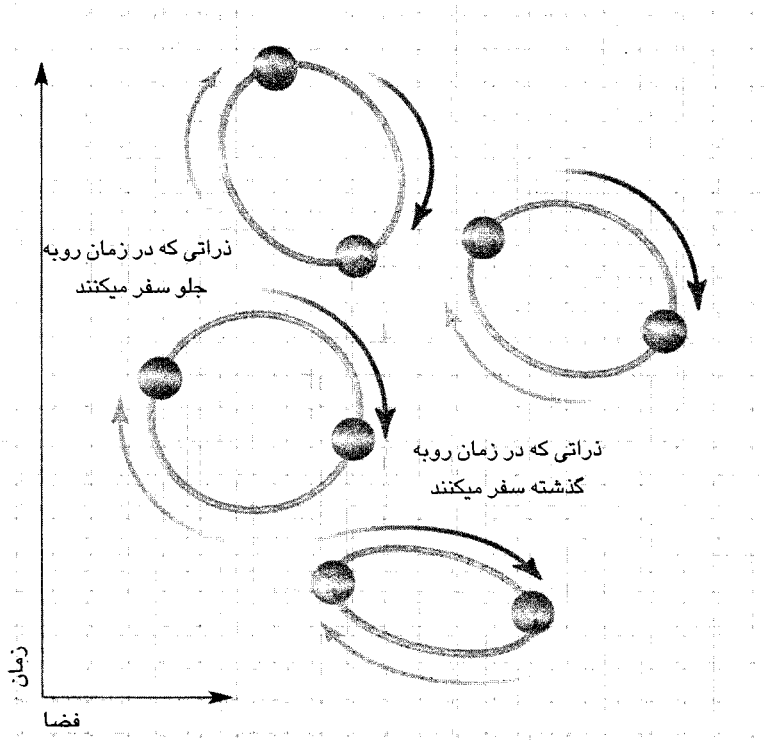


(شکل ۵ ـ ۱۳)
جمع تاریخهای فینمن باید تاریخهایی را که در آن ذرات به گذشته سفر می‌کنند و حتی تاریخهایی را که حلقه‌هایی بسته در زمان و فضا هستند، در بر بگیرد.

نمی‌دهد؟ پاسخ آن است که سفر در زمان به راستی در مقیاس میکروسکوپیک در حال انجام است، اما ما متوجه آن نمی‌شویم. اگر اندیشه جمع تاریخهای فینمن را برای یک ذره به‌کار بندیم، باید تاریخهایی را که در آن ذره تندتر از نور حرکت می‌کند و حتی رو به گذشته ره می‌سپارد، منظور کنیم. به‌ویژه تاریخهایی خواهد بود که در آن، ذره

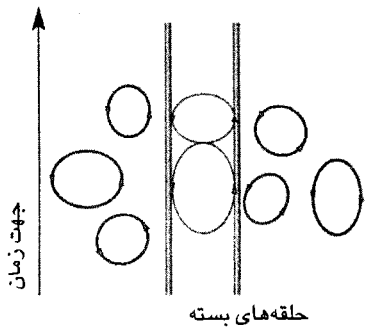
حلقه‌ای بسته در زمان و فضا را در پیش می‌گیرد و به حرکت خود ادامه می‌دهد. مانند فیلم ***روز موش خرما*** (Groundhog Day) که در آن خبرنگاری ناچار است یک روز را بارها و بارها زندگی کند (شکل ۵ ـ ۱۴).

نمی‌توان با یک آشکارساز ذره، مستقیماً ذراتی را با این تاریخهای دارای حلقه بسته مشاهده کرد. اما آثار غیرمستقیمشان در چند آزمایش،



(شکل ۵ ـ ۱۴)

اندازه‌گیری شده‌اند. یکی از آنها، جابه‌جایی کوچک در نورگسیل شده از اتمهای هیدروژن می‌باشد که توسط الکترونهایی که در یک حلقه بسته حرکت می‌کنند، ایجاد شده است. دیگری نیروی کوچک میان صفحه‌های فلزی موازی است که ناشی از این واقعیت‌اند که تعداد تاریخهای حلقه بسته، در میان صفحه‌ها اندکی کمتر از تعداد تاریخهای حلقه بسته در ناحیه بیرون صفحات است ـ تفسیر هم‌ارز دیگری از اثر کازیمیر. پس آزمایش، وجود تاریخهای حلقه بسته را تأیید کرده است (شکل ۵ ـ ۱۵).



(شکل ۵ ـ ۱۵)

شاید کسی بپرسد تاریخهای حلقه بسته ذره، چه ربطی با خمیدگی فضازمان دارد؛ تاریخهای حلقه بسته ذره، حتی در زمینه‌های ثابت همچون فضای تخت نیز رخ می‌دهند. اما در سالهای اخیر دریافته‌ایم که پدیده‌ها در فیزیک اغلب دارای توصیفهایی دوگانه و با اعتبار یکسان هستند. می‌توان به خوبی گفت که یک ذره در زمینه ثابت مفروضی روی حلقه بسته‌ای حرکت می‌کند، یا آنکه ذره ثابت است و فضا و زمان

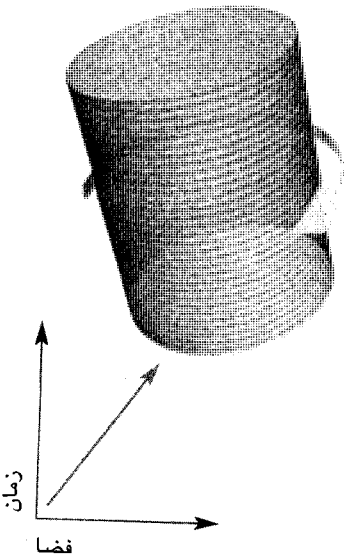
پیرامونش افت و خیز می‌کند. مسئله صرفاً این است که نخست مسیرهای ذره و سپس فضازمانهای خمیده را جمع ببندید یا برعکس.

به نظر می‌رسد که نظریه کوانتومی، سفر در زمان را در مقیاس میکروسکوپیک و خرد می‌پذیرد. اما این چندان به درد داستانهای علمی تخیلی نمی‌خورد که کسی به گذشته برود و پدربزرگ خودش را بکشد. پس پرسش این است: در جمع تاریخها، آیا احتمال فضازمانهایی با حلقه‌های زمانی ماکروسکوپی، می‌تواند بیشینه گردد؟

می‌توان با بررسی جمع تاریخهای میدانهای ماده، در یک رشته از فضازمانهای زمینه که به پذیرش حلقه زمانی نزدیک و نزدیکتر می‌شوند، درباره این پرسش، کندوکاو کرد. انتظار می‌رود که با پیدایش حلقه‌های زمانی، رویدادی دراماتیک رخ دهد، و من این را در یک مثال ساده با دانشجویم مایکل کسیدی (Michael Cassidy) بررسی کردم.

رشته‌های فضازمانهای زمینه که ما بررسی کردیم، پیوند نزدیکی دارد با آنچه جهان آینشتین نامیده می‌شود و وی آن را زمانی پیشنهاد کرد که باور داشت جهان ایستا و در زمان نامتغیر است (نه گسترش می‌یابد و نه کوچک می‌شود، بخش ۱ را بخوانید). در جهان آینشتین، زمان از گذشته بی‌نهایت دور به آینده بی‌پایان می‌رود. اما فضا دارای ابعادی محدود است؛ مانند سطح زمین اما با یک بعد بیشتر، که بر روی خودشان بسته می‌شوند. می‌توان این فضازمان را چونان استوانه‌ای انگاشت که محور بلندش بعد زمان، و سطح مقطعش سه بعد فضاست (شکل ۵ ـ ۱۶).

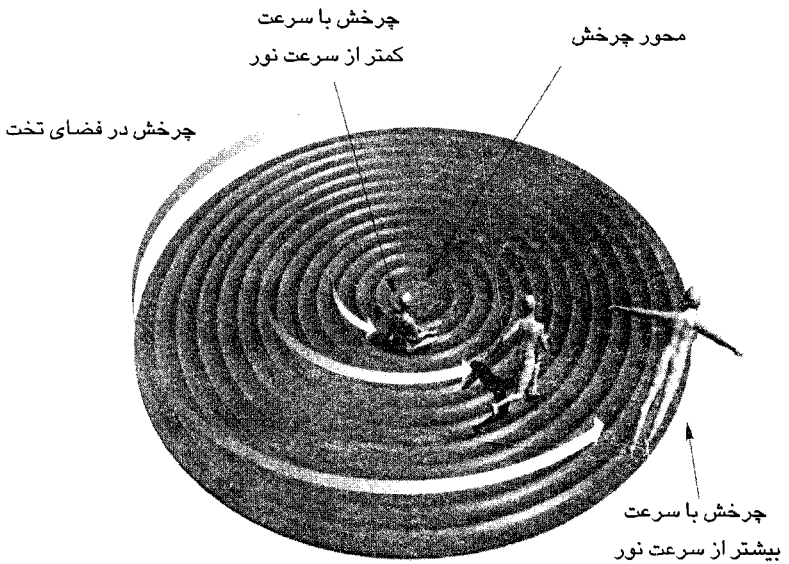
جهان آینشتین نشانگر جهانی که در آن می‌زییم نیست زیرا گسترش نمی‌یابد. با این همه، هنگام بحث درباره سفر در زمان، زمینه مناسبی



(شکل ۵ ــ ۱۶)
جهان آینشتین همانند یک استوانه است: در فضا محدود و در زمان ثابت. به خاطر اندازه محدودش، می‌تواند در همه جا، با سرعتی کمتر از سرعت نور چرخش کند.

است، چراکه چنان ساده است که می‌توانیم تاریخها را جمع بزنیم. برای لحظه‌ای سفر در زمان را فراموش کنید و ماده را در جهان آینشتین در نظر بگیرید که گرد محوری می‌چرخد. اگر روی محور باشید، می‌توانید در یک نقطه ثابت فضا باقی بمانید درست مانند هنگامی که در مرکز چرخ‌بازی کودکان ایستاده‌اید. اما اگر روی محور نباشید، با گردش دور محور، در فضا حرکت می‌کنید و هرچه از مرکز دورتر باشید، تندتر حرکت خواهید کرد (شکل ۵ ــ ۱۷).

پس اگر جهان از نظر فضایی بی‌پایان بود، نقاطی که به اندازه کافی دور از محورند، باید تندتر از نور حرکت کنند. اما از آنجاکه جهان آینشتین از نظر فضایی بی‌پایان نیست، سرعت بحرانی وجود دارد که کمتر از آن،



(شکل ۵ ـ ۱۷)
در فضای تخت، چرخشگر سفت و سخت، در فاصله‌ای دور از محورش، سرعتی بیش از سرعت نور دارد.

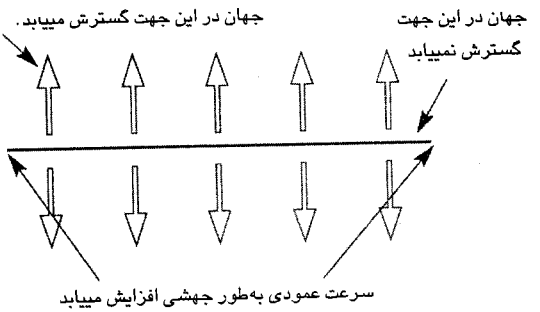
هیچ بخشی از جهان تندتر از نور در چرخش نیست.

حال جمع تاریخهای ذرات را در جهان آینشتین که به گرد خود می‌چرخد، در نظر بگیرید. هنگامی که سرعت چرخش کم است، یک ذره با مقدار مفروضی انرژی، مسیرهای بسیاری را می‌تواند در پیش گیرد. از این‌رو با جمع همه تاریخهای ذره در این زمینه، دامنه بزرگ خواهد شد.

این بدان معناست که در جمع همه تاریخهای فضازمان خمیده، احتمال این زمینه زیاد است و در میان تاریخهای محتمل‌تر قرار دارد. اما زمانی که سرعت چرخش جهان آینشتین به مقدار بحرانی نزدیک می‌شود، آنچنان که لبه‌های بیرونش با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند، از دیدگاه کلاسیک تنها یک مسیر مجاز برای ذره روی آن لبه یافت می‌شود، مسیر ذره‌ای که با سرعت نور در حال حرکت می‌باشد. یعنی جمع تاریخهای ذره کوچک خواهد بود. از این‌رو احتمال این زمینه‌ها در جمع همه تاریخهای فضازمان خمیده، اندک خواهد بود و آنها کمترین احتمال وقوع را خواهند داشت.

جهانهای چرخان آینشتین چه ربطی به سفر در زمان و حلقه‌های زمانی دارند؟ در پاسخ باید گفت آنها از نظر ریاضی هم‌ارز زمینه‌های دیگری هستند که حلقه‌های زمانی را مجاز می‌شمارند. این زمینه‌های دیگر، جهانهایی هستند که در دو جهت فضایی گسترش می‌یابند. جهانها در جهت فضایی سوم، که دوره‌ای و پریودیک است، گسترش نمی‌یابند. به این معنا که اگر در این جهت مسافت معینی را بپیمایید، به همان جای اول خود بازمی‌گردید. اما هربار که مداری را در جهت فضایی سوم می‌پیمایید، سرعت‌تان در جهتهای اول یا دوم فضایی افزایش می‌یابد (شکل ۵ ـ ۱۸).

اگر افزایش، اندک باشد، حلقه زمانی در کار نخواهد بود. اما رشته‌ای از زمینه‌ها را در نظر بگیرید که سرعتشان با جهشهای افزایشی بالا می‌رود. در یک جهش بحرانی معین، حلقه‌های زمانی پدیدار خواهند شد. شگفت‌انگیز نیست اگر بگوییم که این جهش بحرانی با سرعت گردش بحرانی جهانهای آینشتین مطابقت دارد. از آنجا که



(شکل ۵ ــ ۱۸)

زمینه با خمهای زمان‌وار بسته

محاسبات جمع تاریخها در این زمینه‌ها از نظر ریاضی هم‌ارزند، می‌توان نتیجه گرفت که احتمال این زمینه‌ها، هنگامی که به پیچ و تاب لازم برای حلقه‌های زمانی نزدیک می‌شوند، به صفر میل می‌کند. به دیگر سخن، احتمال داشتن پیچ و تاب کافی برای یک ماشین زمان صفر است. این امر آنچه را من گمان حفاظت گاه‌شناسی نامیده‌ام تأیید می‌کند: اینکه قوانین فیزیک سرگرم چیدن توطئه‌اند تا چیزهای ماکروسکوپی قادر به سفر در زمان نباشند.

هرچند جمع تاریخها، حلقه‌های زمانی را مجاز می‌شمرد، احتمال وقوع آنها بس اندک است. بر پایه برهانهای دوگانگی که پیشتر آوردم، گمان می‌برم احتمال آنکه کیپ ثورن بتواند به گذشته بازگردد و پدربزرگش را بکشد، کمتر از یک در ده جلویش یک تریلیون تریلیون تریلیون تریلیون صفر است.

این احتمال بسیار اندک است، اما اگر خوب به تصویر کیپ بنگرید، یک هاله کمرنگ پیرامون آن خواهید دید. این همان احتمال اندکی است که حرام‌زاده‌ای از آینده به گذشته سفر کند و پدربزرگش را بکشد، از این‌رو او واقعاً سر جایش نیست.

کیپ و من به‌عنوان مردان قمارباز، روی این چیزهای عجیب‌غریب، شرط می‌بندیم. گرفتاری آنجاست که دیگر نمی‌توانیم شرط ببندیم چون هم‌اکنون هر دو هم‌عقیده‌ایم. از سوی دیگر من با هیچ کس دیگری شرط‌بندی نمی‌کنم. شاید او از آینده آمده باشد و بداند که سفر در زمان به وقوع پیوسته است.

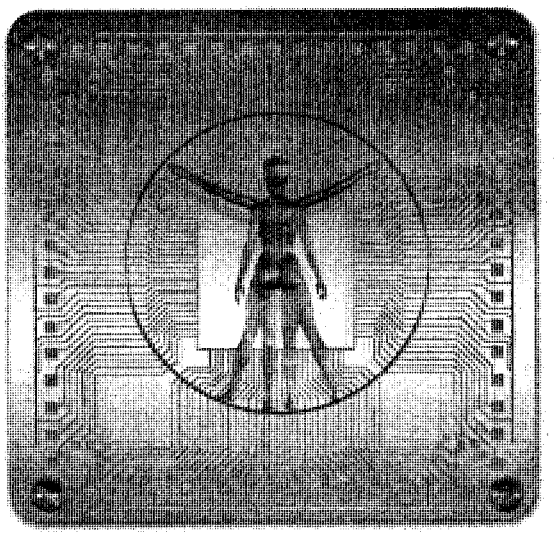
شاید بپندارید که این بخش از کتاب، بخشی از تلاش حکومت برای پنهان نگه داشتن سفر در زمان است. ممکن است حق با شما باشد.

احتمال اینکه کیپ به گذشته برود و پدربزرگش را بکشد یک در $10^{10^{60}}$ می‌باشد. به دیگر سخن یک در ۱۰ ــ با یک تریلیون تریلیون تریلیون تریلیون تریلیون تریلیون صفر جلویش.

بخش ششم

آینده ما؟ پیشتازان فضا یا نه؟

چگونه زندگی زیستی و الکترونیکی با شتابی فزاینده پیچیده‌تر می‌شود

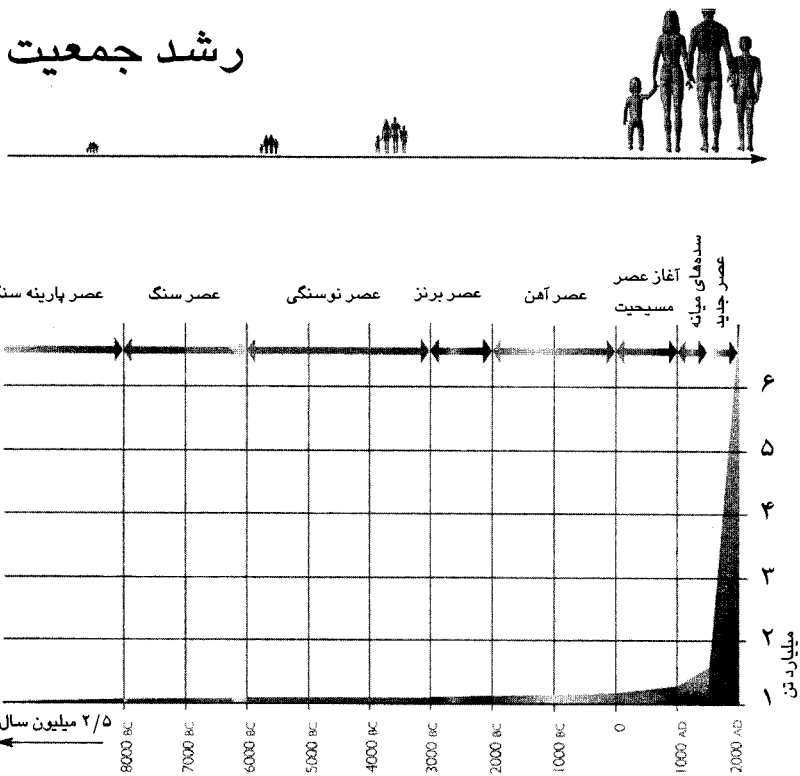


فیلم ***پیشتازان فضا*** بسیار مردم‌پسند است چرا که بینشی ژرف، آرام‌بخش و آسوده از آینده است. خودم تا اندازه‌ای هوادار ***پیشتازان فضا*** هستم، به همین خاطر به سادگی پذیرفتم که در یک قسمت از آن بازی کنم. در آن قسمت من با نیوتن، آینشتین و فرمانده دیتا پوکر بازی کردم و همه آنها را شکست دادم. اما بدبختانه آژیر قرمز زده شد و هرگز نتوانستم آنچه را برده بودم، بردارم.

پیشتازان فضا جامعه‌ای را نشان می‌دهد که از جامعه ما از نظر دانش، فناوری و سازمان سیاسی بسیار پیشرفته‌تر است (آخری شاید چندان دشوار نباشد). باید تغییراتی بزرگ، همراه با تنشها و آشفتگیهایی، میان اکنون و آنگاه وجود داشته باشد، اما در آن دوره‌ای که در فیلمها نشان داده می‌شود، دانش، فناوری و سازمان جامعه در سطحی کمابیش کامل فرض می‌شوند.

می‌خواهم این تصویر را مورد سؤال قرار دهم و بپرسم آیا هرگز در دانش و فن به حالتی پایدار خواهیم رسید. در ده هزار سال و اندی که از

آخرین عصر یخبندان می‌گذرد، دانش و فناوری نژاد بشر هرگز ثابت و یکنواخت نبوده است. عقب‌نشینیهایی چون عصر تاریکی پس از امپراتوری روم وجود داشته است. اما جمعیت جهان، که سنجه‌ای از توانایی فناوریمان برای نگهداری زندگی و خوراک‌رسانی به خودمان می‌باشد، افزایشی پایدار داشته است و تنها چند وقفه همچون مرگ سیاه به چشم می‌خورد (شکل ۶ ـ ۱).

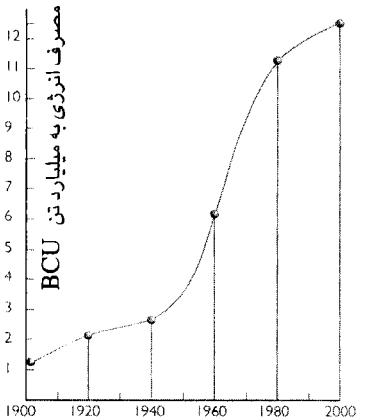


(شکل ۶ ـ ۱)

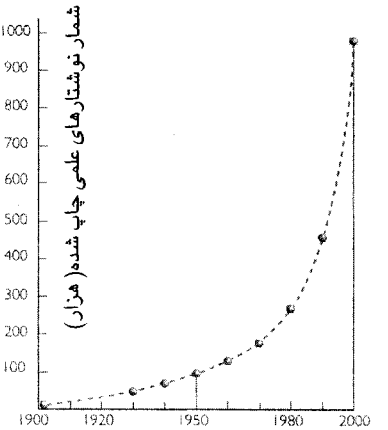
نیوتن، آینشتین، فرمانده دیتا و من در حال بازی پوکر در صحنه‌ای از فیلم پیشتازان فضا

در دویست سال گذشته، افزایش جمعیت‌نمایی شده است، یعنی جمعیت هر ساله با درصد یکسانی بیشتر می‌شود. اکنون نرخ رشد سالانه ۱/۹ درصد است و به معنای آن است که هر چهل سال، شمار مردمان دو برابر می‌شود (شکل ۶ ـ ۲).

دیگر سنجه‌های پیشرفت فناوری در زمانهای اخیر، مصرف برق و شمار نوشتارهای علمی است. آنها نیز افزایشی نمایی دارند و کمتر از هر چهل سال، دو برابر می‌شوند. نشانه‌ای در دست نیست که بگوید



مصرف جهانی برق



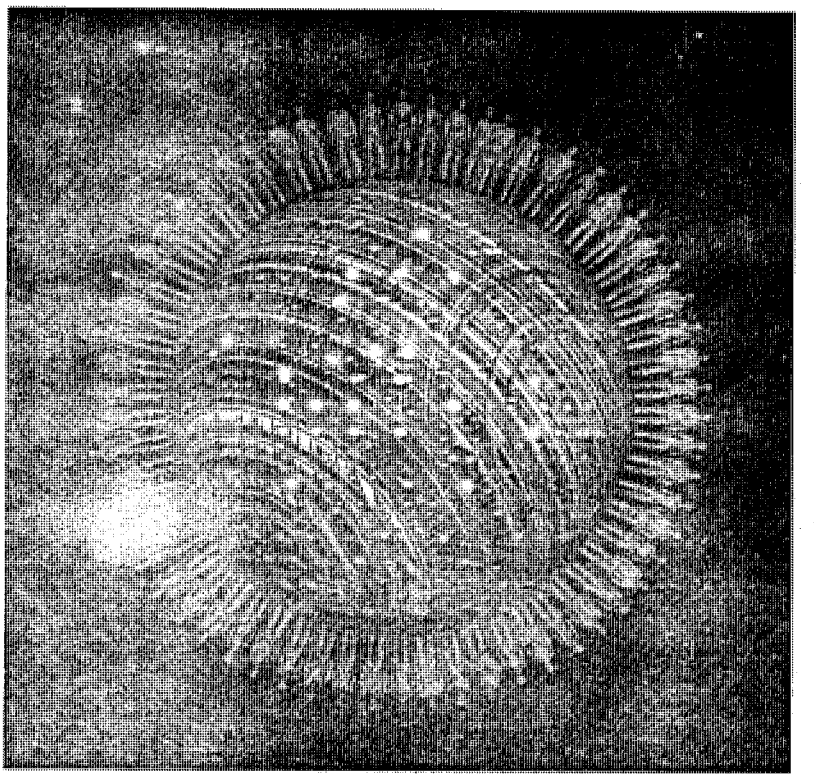
چاپ نوشتارهای علمی در جهان

(شکل ۶ ــ ۲)

چپ: مصرف کل انرژی به میلیارد تن BCU که در آن یک تن زغال سنگ قیری = ۸/۱۳ میلیون وات ساعت

راست: شمار نوشتارهای علمی که هر سال چاپ می‌شود. محور عمودی به هزار است. در سال ۱۹۰۰، تنها ۹۰۰۰ مقاله چاپ شد. در سال ۱۹۵۰ این مقدار به ۹۰,۰۰۰ و در سال ۲۰۰۰ به ۹۰۰,۰۰۰ نوشته رسید.

گسترش علم و فناوری در آینده‌ای نزدیک کاستی بگیرد و متوقف شود بی‌گمان این رویداد در زمان ***پیشتازان فضا*** که پنداشته می‌شود چندان هم دور نباشد، اتفاق نخواهد افتاد. اما اگر رشد جمعیت و افزایش مصرف برق با نرخهای کنونی ادامه یابد، در سال ۲۶۰۰ ، مردمان ناچار خواهند بود دوشادوش یکدیگر بایستند و مصرف برق باعث می‌شود کره زمین از گرما سرخ گردد (به تصویرها نگاه کنید).



در سال ۲۶۰۰، ساکنان جهان به ناچار دوشادوش یکدیگر خواهند ایستاد و مصرف برق چنان کره زمین را داغ خواهد کرد که رنگ آن سرخ خواهد شد.

اگر کتابهای تازه را کنار هم بگذارید، باید با سرعت نود مایل در ساعت بروانید تا پا به پای آخر صف حرکت کنید. البته در سال ۲۶۰۰،

آثار هنری و علمی به‌صورت الکترونیکی منتشر خواهند شد و نه به شکل کتابهای فیزیکی و کاغذی. با این همه اگر رشد نمایی ادامه یابد، در رشته فیزیک نظری، هر ثانیه ده مقاله منتشر می‌شود که وقتی برای خواندنشان نخواهد بود.

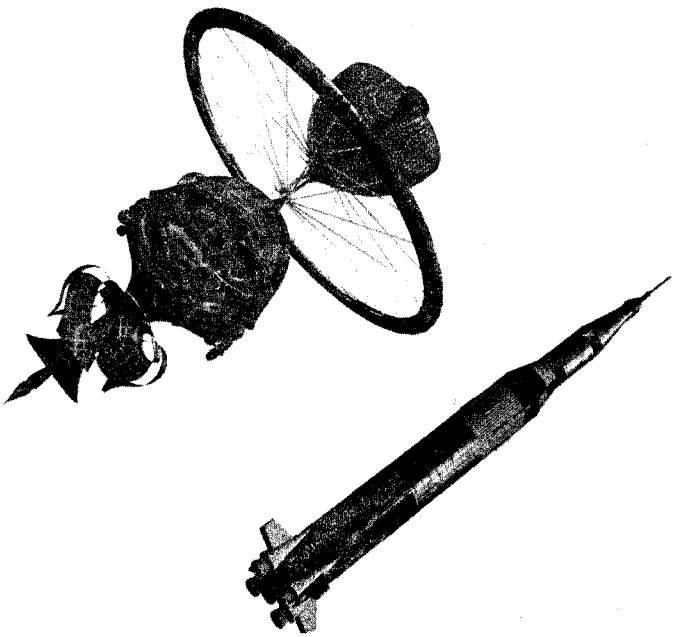
به روشنی، افزایش نمایی کنونی به گونه‌ای نامحدود نمی‌تواند ادامه یابد. پس چه روی خواهد داد؟ یک امکان آن است که خود را با فاجعه‌ای همچون جنگ اتمی، یکسره نابود کنیم. یک شوخی بیمارگونه هست که می‌گوید هیچ موجود فضایی به سراغ ما نیامده است، زیرا هنگامی که تمدنی به پایه گسترش کنونی ما برسد، ناپایدار می‌شود و خود را نابود می‌کند. اما من خوش‌بین هستم. باور ندارم که نژاد بشر این راه دراز را پیموده است تا اینک که همه چیز دارد جالب می‌شود، خودش را ازمیان بردارد.

بینش آینده‌نگر ***پیشتازان فضا*** ــ که بر آن است ما به سطحی پیشرفته اما در بنیان ایستا دست می‌یابیم ــ شاید در مورد دانش ما نسبت به قوانین بنیادین حاکم بر جهان، جامه واقعیت بپوشد. همچنان که در بخش بعد توضیح خواهم داد، ممکن است در آینده‌ای نه‌چندان دور به یک نظریه فرجامین دست یابیم. این نظریه فرجامین اگر وجود داشته باشد، تعیین خواهد کرد که آیا رؤیای پیج رانش[1] که در فیلم ***پیشتازان فضا***

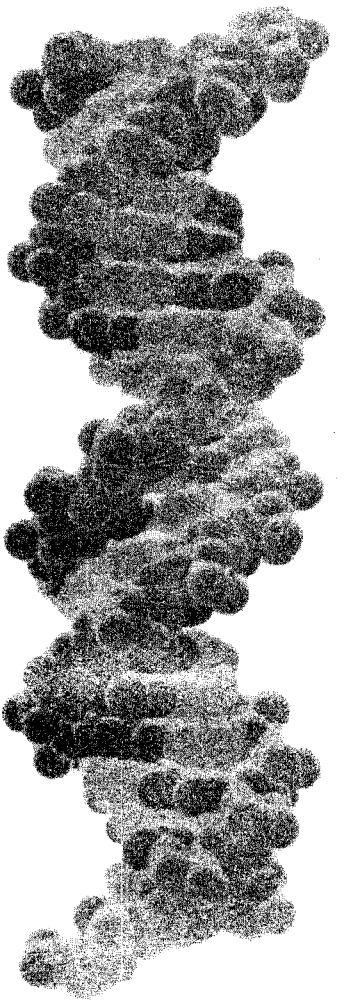
---

۱. (warp drive) تغییر دادن فضازمان به گونه‌ای که اجازه دهد فضاپیمایی با سرعت بسیار زیادِ دلخواهی، حرکت کند. برخی بر این باورند که با گسترش کاملاً موضعی فضازمان در پشت سر، و انقباض معکوس در جلو فضاپیما، حرکت سریعتر از نور نسبت به ناظر بیرون ناحیه آشفته شده، امکان‌پذیر می‌نماید. (مترجم)

طرح شده عملی خواهد شد یا نه. برابر با اندیشه‌های کنونی، به ناگزیر کاوش کهکشان با فضاپیماهایی که سرعتی کمتر از سرعت نور دارند، کند و خسته کننده خواهد بود، اما از آنجاکه نظریه‌ای کامل و یکپارچه نداریم، نمی‌توانیم یکسره پیچ رانش را به کنار بگذاریم (شکل ۶ ـ ۳).



(شکل ۶ ـ ۳)
داستان *پیشتازان فضا* وابسته به *اینتر پرایز* و فضاپیماهایی مانند فضاپیمای بالایی است که می‌توانند در سرعتهای بسیار تندتر از سرعت نور (warp speed) حرکت کنند. اما اگر گمان حفاظت از گاهشماری درست باشد، باید با فضاپیماهایی که با موتور موشک رانده می‌شوند، و سرعتشان کمتر از سرعت نور است به‌سوی کهکشانها سفر کنیم.



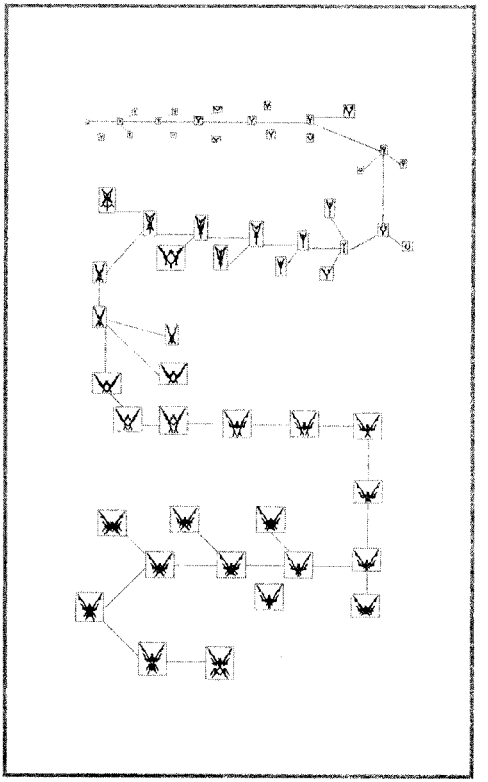
از سوی دیگر، ما قوانینی را که در همه حالتها، مگر *حدی‌ترینشان*، صدق می‌کنند می‌شناسیم؛ قوانینی که اگر نه بر خود فضاپیمای اینترپرایز، ولی بر سرنشینانش حاکم است. اما به نظر نمی‌رسد که در کاربردهای این قوانین توسط ما یا در پیچیدگی سامانه‌هایی که بر پایه آنها ساخته می‌شوند، هرگز به حالت پایداری برسیم. در دنباله این بخش به این پیچیدگی می‌پردازیم.

پیچیده‌ترین سامانه‌ای که داریم، تن و بدن خودمان است. به نظر می‌رسد زندگی، چهار میلیارد سال پیش در اقیانوسهای اولیه که کره‌زمین را پوشانده بود به‌وجود آمد. اینکه چگونه روی داد نمی‌دانیم. شاید برخوردهای تصادفی میان اتمها، ملکولهایی را به‌وجود آورد که می‌توانستند خود را باز تولید کنند و با گرد هم آمدن، سازه‌های پیچیده‌تر بسازند. آنچه می‌دانیم آن است که سه و نیم میلیارد سال پیش، ملکولهای بسیار پیچیده

دی. ان. ای. (DNA) پدیدار شدند.

دی. ان. ای. بنیان همه زندگی روی زمین است و ساختار مارپیچی دوگانه همچون پلکان مارپیچی دارد. در سال ۱۹۵۳ **فرانسیس کریک** (Francis Crick) و **جیمز واتسون** (James Watson) در آزمایشگاه کاوندیش (Cavendish Lab) درکمبریج دی. ان. ای. راکشف کردند. دو رشته مارپیچ دوگانه با جفتهای پایه به هم پیوسته‌اند، مانند پله‌ها در پلکان مارپیچی. چهار پایه در دی. ان. ای. وجود دارد: ادنایِن (Adenine)، گوانایِن (Guanine)، ثی‌مایِن (Thymine) و سیتوسایِن (Cytosine). ترتیب قرارگرفتن این چهار پایه در پلکان مارپیچی، اطلاعات ژنتیکی را دربر دارد که دی. ان. ای. را قادر می‌سازد تا سازواره‌ای گرد خود آورد و خودش را باز تولید نماید. زمانی که رونوشتهایی از خود می‌سازد، گاه و بی‌گاه خطاهایی در نسبت یا ترتیب پایه‌ها در طول مارپیچ روی می‌دهد. در بیشتر موارد، خطاها موجب می‌شوند دی. ان. ای. توانایی بازتولید خود را از دست بدهد یا احتمال بازتولید کاهش یابد. یعنی چنین خطاهای ژنتیکی، یا آنچنان که می‌نامندش، جهشها فرو بمیرند. اما در موارد اندکی، خطا یا جهش، بخت ماندن و بازتولید دی. ان. ای. را افزایش می‌دهد. چنین تغییراتی در رمز ژنتیک مطلوب است. اینچنین است که اطلاعات گنجیده در رشته دی. ان. ای. رفته رفته تکامل می‌یابد و پیچیده‌تر می‌شود (شکل ۶ ـ ۴).

از آنجا که تکامل زیست‌شناختی پَرسه‌ای تصادفی در فضای همه امکانات ژنتیکی است، بسیار کند می‌باشد. پیچیدگی، یا شمار بیتهای اطلاعات که در دی. ان. ای. رمزگذاری شده است، کمابیش برابر با تعداد پایه‌های موجود در ملکول می‌باشد. در مدت دو میلیارد و اندی سال نخست، نرخ افزایش پیچیدگی باید از مرتبه یک بیت اطلاعات در هر

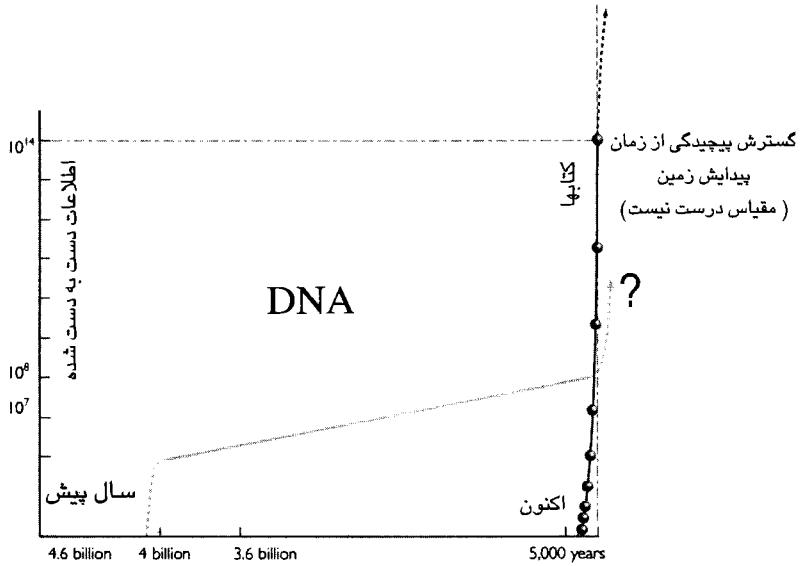


(شکل ۶ ـ ۴) *تکامل در حال عمل*

در این تصویر ریختارهای زیستی رایانه‌ای دیده می‌شوند که توسط برنامه‌ای که ریچار داوکینز (Richard Dawkins) زیست‌شناس نوشته است، تولید شده‌اند.

بقای یک نژاد خاص بستگی دارد به ویژگیهایی همچون «جالب بودن»، «متفاوت بودن»، «حشره مانند بودن».

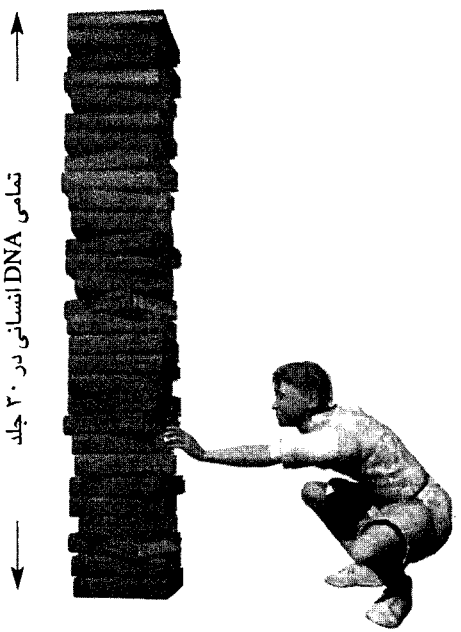
تولیدات تصادفی اولیه از یک تک پیکسل (Pixel) آغاز شد و در فرایندی همچون انتخاب طبیعی گسترش یافت. داوکینز شکلی حشره مانند را در ۲۹ نسل (به همراه شماری بن‌بست تکاملی) پروراند.



صد سال باشد. این نرخ در چند میلیون سال گذشته به کمابیش یک بیت در سال افزایش یافت. اما نزدیک به شش یا هشت هزار سال پیش، تحول عمده نوینی روی داد. زبان نوشتاری پدیدار گردید. به دیگر سخن اطلاعات می‌توانست از یک نسل و زادگان به زادگان دیگر برسد بی‌آنکه منتظر فرآیند بسیار کند جهشهای تصادفی و گزینش طبیعی برای رمزگذاری آن اطلاعات در رشته دی. ان. ای. شد. میزان پیچیدگی، افزایشی سترگ یافت، کتاب داستانی عاشقانه، می‌تواند به همان اندازه اطلاعاتی را دربر داشته باشد که موجب تفاوت دی. ان. ای. میان میمون و انسان می‌گردد و دانشنامه سی جلدی می‌تواند همه توالی دی. ان. ای. انسانی را در خود بگنجاند (شکل ۶ ـ ۵).

حتی از این مهمتر، اطلاعات کتابها به تندی بهنگام می‌شود. آهنگ کنونی بهنگام شدن دی. ان. ای. انسان به دست تکامل زیست‌شناسی کمابیش یک بیت در سال است. اما سالانه دویست هزار کتاب تازه منتشر می‌شود؛ بیش از یک میلیون بیت اطلاعات نو در هر ثانیه. البته بیشتر این اطلاعات دور ریختنی است، اما اگر حتی یک بیت در هر میلیون آن به دردبخور باشد، باز هم صد هزاربار از تکامل زیست‌شناسانه تندتر است.

این دست به دست شدن اطلاعات از راه ابزارهای بیرونی و نازیست‌شناسانه، به برتری نژاد بشر در جهان و افزایش نمایی جمعیت وی انجامیده است. اما اینک در آغاز دوران نوینی هستیم که در آن خواهیم توانست پیچیدگی نگاشتهای درونی خود یعنی دی. ان. ای. را فزونی بخشیم، بی‌آنکه ناگزیر چشم به راه فرآیند کند تکامل زیستی باشیم.

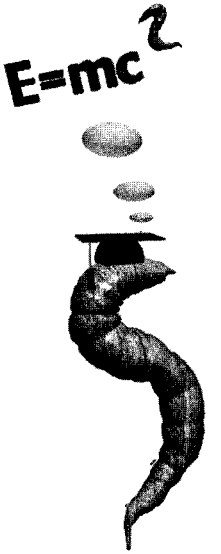


(شکل ۶ ــ ۵)

در طول ده هزار سال گذشته هیچ تغییر عمده‌ای در دی. ان. ای. انسان به چشم نخورده است، اما محتمل است که در هزار سال آینده بتوانیم یکسره آن را باز طراحی کنیم. البته بسیاری خواهند گفت که مهندسی ژنتیک انسانی باید ممنوع

رویانی‌که‌دربیرون بدن‌انسان رشدمی‌کندمی‌تواند مغزبزرگتر و هوش بیشتری داشته باشد

شود، اما در تحقق آن تردید وجود دارد. مهندسیِ ژنتیکِ گیاهان و حیوانات به دلایل اقتصادی مجاز خواهد بود و سرانجام کسی آن را روی انسانها پیاده خواهد کرد، بالاخره کسی در جایی، انسانهای بهبودیافته را طراحی خواهد کرد مگرآنکه نظم جهانی خودکامه‌ای برپا شود.



توان محاسباتی رایانه‌های کنونی ما از مغز یک کرم خاکی ناچیز، کمتر است

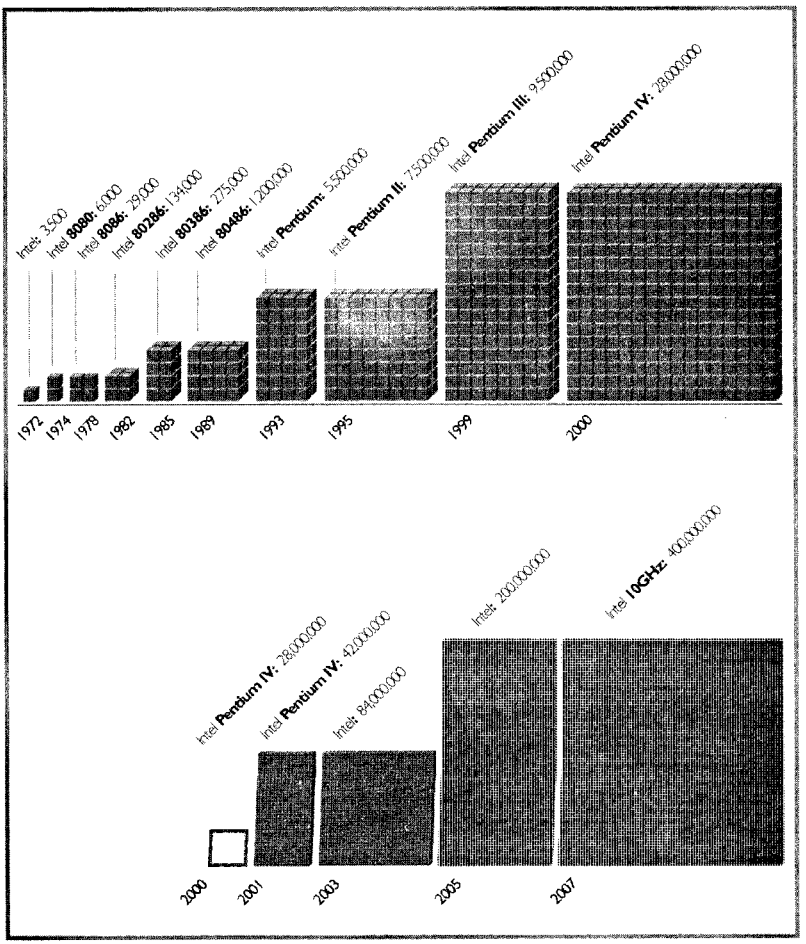
روشن است که آفرینش انسانهای بهبودیافته، دشواریهای بزرگ اجتماعی و سیاسی برای انسانهای بهبودنیافته پدیدار خواهد ساخت. هدف من آن نیست که از مهندسی ژنتیک انسانی، همچون رویدادی خوشایند دفاع کنم، اما تنها می‌گویم که این کار محتمل است، چه بخواهیم چه نخواهیم. این است که من داستانهای علمی‌تخیلی مانند ***پیشتازان فضا*** را باور ندارم. در این داستانها، آدمهای چهارصد سال بعد، اساساً همانند آدمهای امروزند. فکر می‌کنم که نژاد بشر و دی. ان. ای. آن، شتابان پیچیدگیش را بالا خواهد برد. باید دریابیم که این روند محتمل است و راه‌کارهای برخورد با آن را پیدا کنیم.

چنانچه بشر بخواهد با جهان پیرامونش که به گونه‌ای فزآینده

پیچیده می‌شود، کنار بیاید و با چالشهای نوینی همچون سفر فضایی روبه‌رو گردد، باید تواناییهای ذهنی و فیزیکی خود را بهبود بخشد. اگر قرار باشد سامانه‌های زیستی از سامانه‌های الکترونیکی جلوتر بمانند، انسانها باید پیچیدگیشان را افزایش دهند. اکنون رایانه‌ها از نظر سرعت برتری دارند اما نشانی از هوش ندارند. این شگفت‌انگیز نیست زیرا رایانه‌های کنونی از مغز کرم خاکی که از نظر تواناییهای هوشی ناقابل است، پیچیدگی کمتری دارند.

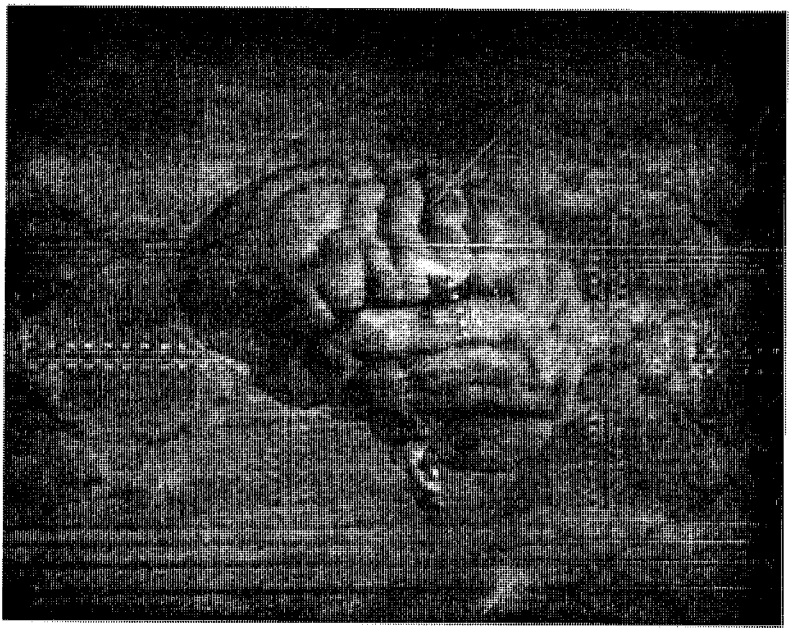
اما رایانه‌ها از آنچه قانون **مور** (Moore) خوانده می‌شود، پیروی می‌کنند: سرعت و پیچیدگی آنها هر هجده ماه دو برابر می‌شود (شکل ۶ ـ ۶). این یکی از آن رشدهای نمایی است که به روشنی نمی‌تواند به‌طور نامحدود ادامه یابد. اما شاید تا زمانی که رایانه‌ها به پیچیدگی‌ای مانند انسان دست یابند، دنبال شود. برخی می‌گویند رایانه‌ها هرچه باشند هرگز نمی‌توانند از خود هوش واقعی نشان دهند. اما به باور من اگر ملکولهای شیمیایی بسیار پیچیده در انسانها عمل می‌کنند و آنها را باهوش می‌سازند، آنگاه مدارهای الکترونیکی به همان اندازه پیچیده نیز می‌توانند رایانه‌ها را هوشمند کنند. و اگر آنها هوشمند شوند، گویا می‌توانند رایانه‌هایی بسازند که حتی پیچیدگی و هوش بیشتری داشته باشند.

این افزایش پیچیدگی زیستی والکترونیکی همواره دنبال می‌شود، یا برای آن مرزی طبیعی وجود دارد؟ازنظر زیستی، تاکنون حد هوش انسانی را اندازه مغزی که از رحم مادر می‌تواند بگذرد، معین کرده است. با دیدن زاده شدن سه فرزندم، نیک می‌دانم که بیرون آمدنِ سر، چه اندازه دشوار است. اما در سیصد سال آینده، چشم داریم که بتوان بچه‌هایی را



(شکل ۶ ــ ۶)

رشد نمایی توان محاسباتی پردازشگر مرکزی (CPU) که سازنده آن، نمایش داده است.
از سال ۱۹۷۲ تا برآوردی محافظه‌کارانه از سال ۲۰۰۷.
عددی که پس از نام تراشه آمده است نشانگر شماره محاسبات در ثانیه است.



کاشته‌های عصبی، حافظه‌های تقویت شده را به ارمغان می‌آورند و توان یادگیریِ بسته‌های کامل اطلاعاتی، همچون یک زبان کامل یا محتوای کتاب حاضر را ظرف چند دقیقه فراهم می‌کنند. چنین انسانهای تقویت شده‌ای همانندی اندکی با ما خواهند داشت.

بیرون تن انسان پرورش دهیم و این تنگنا ازمیان برود. سرانجام اما افزایشهای اندازه مغز انسان از راه مهندسیِ ژنتیک با مشکل کند بودن نسبیِ پیامبرانِ شیمیاییِ بدن که مسئول فعالیت ذهنی ما هستند روبه‌رو خواهد شد. به دیگر سخن، افزایشهای بیشترِ پیچیدگی مغز به قیمت

سرعت آن تمام می‌شود. ما یا تندذهن هستیم یا بسیار باهوش، اما نمی‌توانیم هر دو این ویژگیها را با هم داشته باشیم. هنوز فکر می‌کنم که می‌توانیم بسیار باهوشتر از بسیاری از شخصیتهای ***پیشتازان فضا*** شویم.

مدارهای الکترونیک نیز مانند مغز انسان، با همین مشکل پیچیدگی در برابر سرعت روبه‌رو هستند. در این مورد، سیگنالها الکتریکی‌اند و نه شیمیایی، و با سرعت نور که بسیار تندتر است حرکت می‌کنند. با این همه سرعت نور محدودیتی عملی بر طراحی رایانه‌های سریعتر بوده است. می‌توان با کوچکتر کردن مدارها بهبودهایی را پدید آورد، اما نهایتاً محدودیتی وجود خواهد داشت که سرشت اتمی ماده آن را تعیین می‌کند. پیش از رسیدن به این مانع، هنوز راههایی هست که باید پیمود.

راه دیگر برای افزایش پیچیدگی مدارهای الکترونیک و حفظ سرعت آنها، نسخه‌برداری از مغز انسان است. مغز واحد مرکزی پردازش یگانه‌ای ندارد که هر فرمان را به ترتیب پردازش کند. بلکه میلیونها پردازنده دارد که همزمان با هم کار می‌کنند. چنین پردازش موازیِ پرحجمی، آینده هوش الکترونیک را شکل خواهد داد.

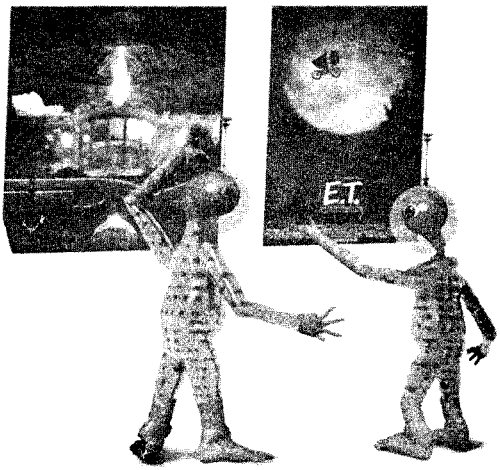
با فرض اینکه در یکصد سال آینده خود را نابود نخواهیم کرد، احتمالاً نخست به سیاره‌های منظومه خورشیدی و سپس به ستارگان نزدیک خواهیم رفت. اما برخلاف ***پیشتازان فضا*** یا ***بابیلون ۵*** (Babylon5)، نژاد نوینی کمابیش همانند نژاد بشر، در هر سامانه ستاره‌ای پیدا نخواهیم کرد. نژاد بشر تنها در دو میلیون سال از پانزده میلیارد سال پس از انفجار بزرگ، به شکل کنونیش وجود داشته است (شکل ۶ ـ ۷).

تاریخچه جهان

۰/۰۰۰۰۳ میلیارد سال	انفجار بزرگ. جهانی آتشین و از نظر نوری چگال و متورم
	ماده / انرژی جدا می‌شوند. جهان شفاف است
۱ میلیارد سال	خوشه‌های ماده، کهکشان‌واره‌هایی را شکل می‌دهند که هسته‌های سنگین‌تر را ترکیب می‌کنند
۳ میلیارد سال	کهکشانهایی که در کنکاش ژرف میدان تلسکوپ فضایی هابل ثبت شده‌اند
۵ میلیارد سال	کهکشانهای نوین همچون کهکشان خودمان، با هسته سنگین‌تر شکل می‌گیرند
۱۰/۳ میلیارد سال	شکل‌گیری منظومه خورشیدی ما با سیاره‌هایش
۱۱/۵ میلیارد سال	اشکال زندگی آغاز به پیدایش می‌کنند (۳/۵ میلیارد سال پیش)
۱۵ میلیارد سال	انسانهای نخستین پدیدار می‌شوند (۰/۰۰۰۵ میلیارد سال پیش)

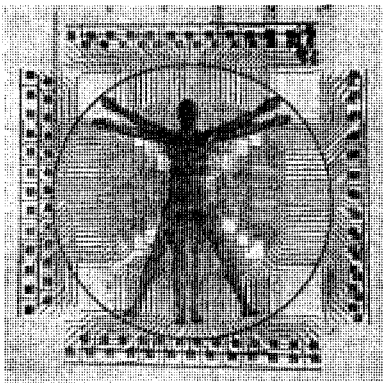
(شکل ۶ ــ ۷)

نژاد بشر تنها در جزء کوچکی از تاریخ جهان وجود داشته است. به هر زندگی بیگانه‌ای که برخورد کنیم، احتمالاً یا بسیار بدویتر و یا بسیار پیشرفته‌تر از ماست.



پس حتی اگر زندگی در دیگر سامانه‌های ستاره‌ای پدیدار شود، بخت اینکه در مرحله انسانیِ قابل تشخیص به سراغش برویم، بسیار اندک است. با هر زندگی بیگانه‌ای که روبه‌رو شویم احتمالاً یا بسیار بدوی‌تر یا بسیار پیشرفته‌تر است. اگر پیشرفته‌تر است، چرا حضور خود را به سراسر کهکشان گسترش نداده و از زمین بازدید نکرده است؟ اگر بیگانگان به اینجا آمده باشند، ورودشان حتماً علنی می‌بود: بیشتر مانند فیلم ***روز استقلال*** تا فیلم **E. T.**.

پس چگونه می‌توان، نبود بازدیدکنندگان به روی زمین را توضیح داد؟ شاید نژاد پیشرفته‌ای هست که از وجود ما هم آگاه است اما ما را به حال خودمان رها کرده است تا پیشرفت کنیم. اما به سادگی نمی‌توان پذیرفت که این نژاد پیشرفته نسبت به شکل زندگی پست‌تر



واسطه زیستی ــ الکترونیکی

ظرف دو دهه، یک رایانه هزار دلاری ممکن است به پیچیدگی مغز انسان برسد. پردازشگرهای موازی از روش کار مغز می‌توانند تقلید کنند و باعث کارکرد هوشمندانه و آگاهانه رایانه‌ها شوند.

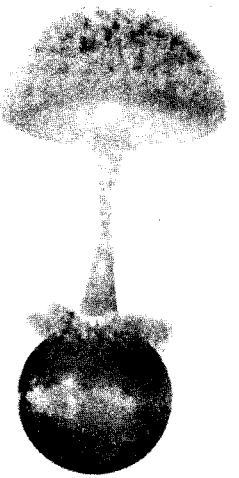
کاشته‌های عصبی شاید واسطه پر سرعت‌تری را میان مغز و رایانه ایجاد کنند که فاصله میان هوش زیستی و الکترونیکی را از میان بردارد.

در آینده نزدیک، بیشتر داد و ستدهای تجاری احتمالاً میان شخصیتهای سیبرنتیک و از طریق اینترنت انجام خواهد شد.

ظرف یک دهه، بسیاری از ما شاید حتی زندگی مجازی روی اینترنت را برگزینیم و دوستیها و روابط سیبرنتیک ایجاد کنیم.

دانش ما درباره ژنوم (genome) انسانی بی‌گمان پیشرفتهای پزشکی بزرگی را خواهد آفرید، اما ما را قادر خواهد ساخت که تا پیچیدگی ساختار DNA انسان را افزایش چشمگیری بخشیم. در چند صد سال آینده مهندسی ژنتیک انسانی شاید جایگزین تکامل زیستی انسان شود، و نژاد بشر را دوباره طراحی نماید و پرسشهای یکسره تازه اخلاقی را به پیش کشد.

سفر فضایی به فراتر از منظومه خورشیدی احتمالاً به انسانهایی که از راه مهندسی ژنتیک به‌وجود آمده‌اند نیاز خواهد داشت و یا فضاپیماهای بی‌سرنشین که با رایانه کنترل می‌شوند، این مسئولیت را بر دوش خواهند گرفت.



آیا هوش از نظر بقای نوع، در درازمدت، ارزش زیادی دارد؟

ملاحظه‌ای داشته باشد: آیا بیشتر ما، نگران کرم خاکیها و حشراتی که زیر پایمان له می‌کنیم هستیم؟ یک توضیح خردپذیرتر آن است که احتمال تکامل زندگی در دیگر سیارات یا احتمال آنکه آن زندگی در حال به‌وجود آوردن هوش باشد، بسیار اندک است. از آنجا که ما خود را هوشمند می‌پنداریم ــ هرچند شاید خیلی محق هم نباشیم ــ دوست داریم هوش را نتیجه گریزناپذیر تکامل بدانیم. اما می‌توان پرسشهایی را پیش کشید. روشن نیست که هوش ارزش چندانی برای بقا و ماندگاری داشته باشد. باکتریهای بی‌هوش بسیار ماندگارند و اگر روزی، به اصطلاح هوش ما موجب شود خود را در جنگ هسته‌ای نابود سازیم، باکتریها از این رویداد جان به در خواهند برد. پس درکاوش کهکشانها شاید به زندگی بدوی برخورد کنیم اما بعید است موجوداتی همانند خودمان را بیابیم.

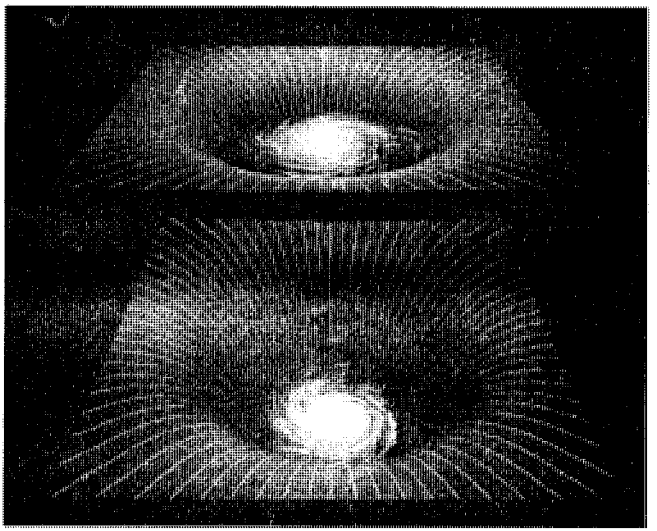
آینده علم چونان تصویر آرام‌بخشی که در فیلم ***پیشتازان فضا*** رسم شده بود، نیست: جهانی با نژادهای انسان‌گونه بسیار و با دانش و فناوری پیشرفته اما در بنیاد ایستا. به جای آن فکر می‌کنم ما تنها خواهیم بود اما به سرعت پیچیدگی زیستی و الکترونیکی خود را گسترش خواهیم داد. بیشتر اینها در یکصد سال آینده، که می‌توانیم با اطمینان پیش‌بینی کنیم،

روی نخواهد داد. اما در پایان هزاره سوم، البته اگر تا آن زمان برجا مانده باشیم، تفاوت با فیلم ***پیشتازان فضا*** بنیادین خواهد بود.

بخش هفتم

جهان نوین پوسته‌ای

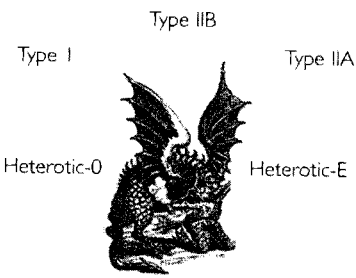
آیا ما روی پوسته زندگی می‌کنیم یا هولوگرام‌هایی بیش نیستیم؟



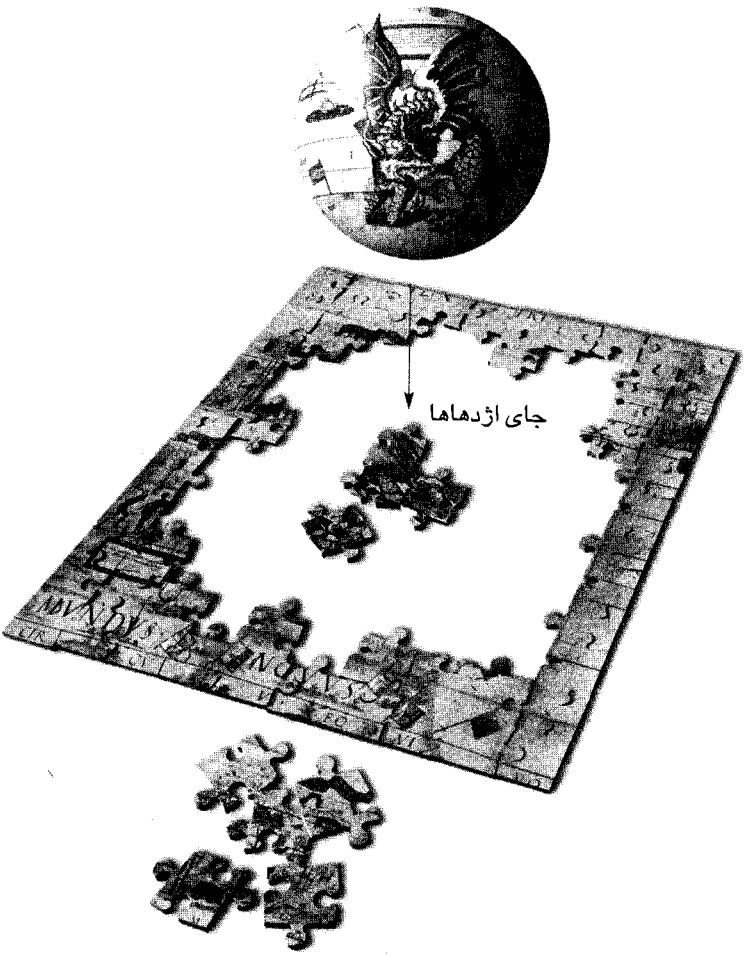
سفر اکتشافی ما در آینده چگونه پیش خواهد رفت؟ آیا ما در جستجوی نظریه یکپارچه کاملی که بر جهان و آنچه دروست فرمان می‌راند، کامروا خواهیم شد؟ درواقع همان‌گونه که در بخش ۲ گفتیم، شاید در چهارچوب نظریه اِم (Mtheory) به نظریه همه چیز (TOE) دست یافته باشیم. این نظریه دست کم تا آنجا که ما می‌دانیم، یک فرمول‌بندی یگانه ندارد. به جای آن ما شبکه‌ای از نظریه‌های ظاهراً متفاوت را کشف کرده‌ایم که همگی به نظر می‌رسد تقریبی از یک نظریه بنیادین، در محدوده‌های مختلف می‌باشند، درست مانند نظریه گرانش نیوتن که تقریبی از نظریه نسبیت عام آینشتین، در محدودهٔ میدانهای گرانشی است. نظریه اِم مانند یک معمای تصویری است که باید تکه‌های آن را کنار هم گذاشت تا به تصویری کامل دست یابیم. شناسایی و جفت و جورکردن تکه‌های لبه تصویر، یعنی محدوده‌های نظریه اِم که در آن، این یا آن کمیت کوچک است، آسانترین بخش کار می‌باشد. ما اکنون اندیشه تا اندازه‌ای روشن از این لبه‌ها داریم اما هنوز سوراخی باز، در میانه معمای تصویری نظریه اِم هست، که نمی‌دانیم در آن چه می‌گذرد

(شکل ۷ ـ ۱). تا زمانی که آن سوراخ را پر نکرده‌ایم نمی‌توانیم ادعا کنیم که نظریه همه چیز را به راستی یافته‌ایم.

در مرکز نظریه اِم چیست؟ آیا اژدهاهایی (یا چیزی به همان اندازه شگفت‌انگیز) مانند آنچه روی نقشه‌های کهن سرزمینهای کشف ناشده هست، کشف خواهیم کرد؟ تجربه گذشته ما می‌گوید هرگاه دامنه مشاهدات خود را به مقیاسهای کوچکتر کشانده‌ایم، ممکن است پدیده‌های نوین غیرمنتظره‌ای بیابیم. در آغاز سده بیستم، دانستیم کارکردهای طبیعت در مقیاسهای فیزیک کلاسیک، که برای فاصله‌های میان ستاره‌ای تا کمابیش یک صدم میلیمتر مناسب است، چگونه است. فیزیک کلاسیک فرض می‌کند که ماده محیطی پیوسته و با ویژگیهایی چون کشسانی و گران‌روی است، اما گواههایی پدیدار شدند که نشان از دانه دانه بودن ماده و نه همواری آن داشتند: ماده از آجرهای ریزی به‌نام اتم ساخته شده است. اتم واژه‌ای یونانی و به معنای بخش‌ناپذیر است، اما به زودی دریافتیم که اتمها الکترون‌هایی دربر دارند که گرد هسته‌ای از پروتون‌ها و نوترون‌ها می‌چرخند (شکل ۷ ـ ۲).

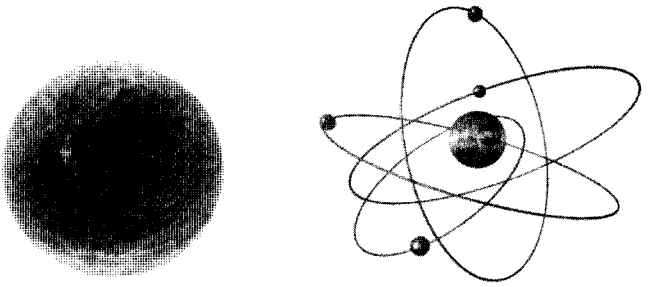


ابر گرانش یازده بعدی



(شکل ۷ ــ ۱)

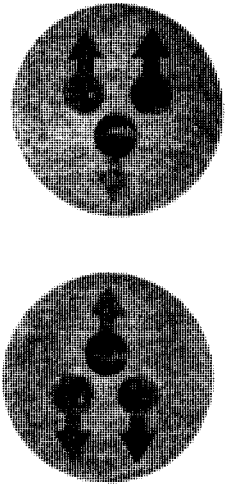
نظریه اِم مانند یک معمای تصویری است. شناسایی و جفت و جور کردن تکه‌های لبه تصویر آسان است. اما به روشنی نمی‌دانیم در وسط آن چه می‌گذرد و به تقریب نیز نمی‌توانیم بگوییم که آنجا این یا آن کمیت کوچک خواهد بود.



(شکل ۷ ــ ۲)
چپ: اتم بخش‌ناپذیر کلاسیک
راست: اتم با الکترونهایی که در مدار، گرد هستهٔ ساخته شده از پروتون‌ها و نوترون‌ها می‌گردند.

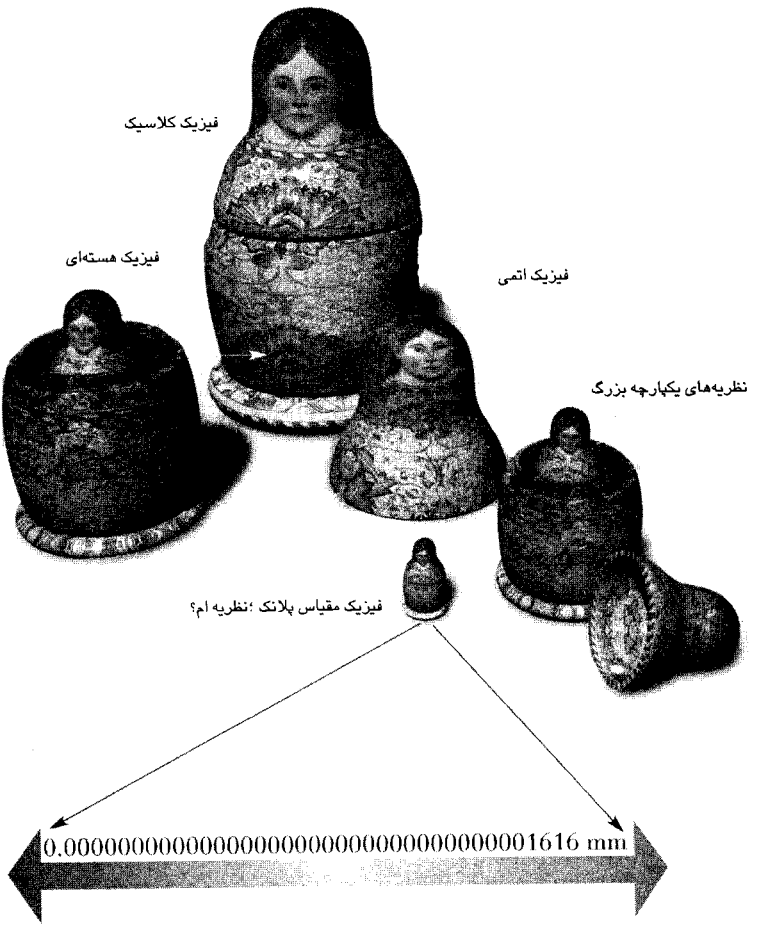
پژوهش روی فیزیک اتمی در سی سال نخست سده بیستم، آگاهی ما را به طولهایی بـه انـدازه یک مـیلیونیم مـیلیمتر گسـترش داد. آنگـاه دانستیم که پروتون‌ها و نوترون‌ها از ذرات حتی کوچکتری به‌نام کوارک درست شده‌اند (شکل ۷ ــ ۳).

پژوهشهایی که بـه تـازگی در فـیزیک هسـته‌ای و پـرانـرژی انـجام شده‌اند، ما را به طولهایی که به مقیاس یک میلیاردیم کوچکترند، برده‌اند. شاید به نظر برسد که همواره می‌توانیم ایـن رونـد را پـی بگـیریم و بـه سازه‌هایی با مقیاسهای کوچک و کوچکتر دست بیابیم. هرچند کـران و حدی برای این رشته وجود دارد، همچنان که برای ***عروسکهای روسی*** که درون هم قرار دارند حدی وجود دارد (شکل ۷ ــ ۴).



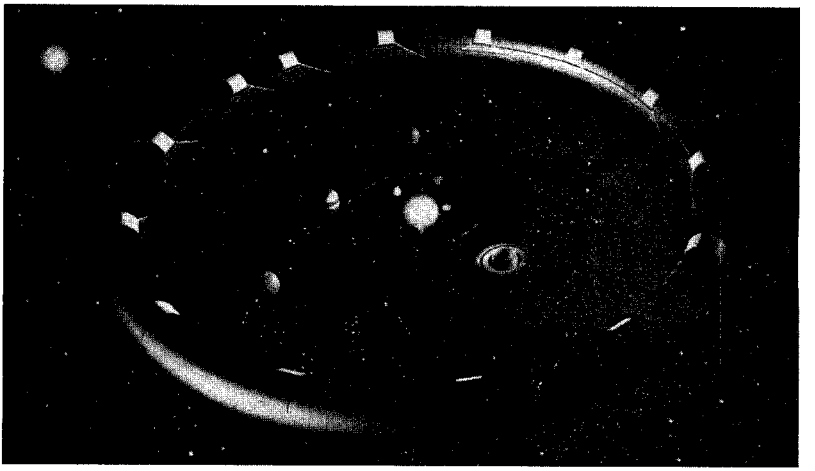
(شکل ۷ ــ ۳)
بالا: پروتون از دو کوارک بالا که بار الکتریکی هر یک، دو سوم مثبت است و یک کوارک پایین با بار یک سوم منفی، ساخته شده است.
پایین: نوترون از دو کوارک پایین که بار الکتریکی هر یک یک سوم منفی است و یک کوارک بالا با بار دو سوم مثبت، ساخته شده است.

سرانجام به کوچکترین عروسک که دیگر بخش‌پذیر نیست می‌رسیم. در فیزیک، کوچکترین عروسک، طول پلانک نام دارد. برای کاوش در فاصله‌های کوچکتر به ذراتی با چنان انرژی بالایی نیاز است که در سیاهچاله‌ها یافت می‌شوند. ما به درستی نمی‌دانیم که طول بنیادین پلانک در نظریه اِم چه اندازه است، اما ممکن است به کوچکی یک میلیمتر بخش بر یکصد هزار میلیارد میلیارد میلیارد باشد. ساختن شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای که در فاصله‌هایی چنین کوچک کاوش کنند، به این زودیها شدنی نیست، زیرا اندازه‌شان باید بزرگتر از منظومه خورشیدی باشد و بعید است با اوضاع و احوال مالی کنونی مورد تصویب قرار گیرند (شکل ۷ ــ ۵).



(شکل ۷ ــ ۴)

هر عروسک نشانگر دانش نظری ما از طبیعت تا مقیاس طولی معینی می‌باشد. در هر عروسک، عروسک دیگری است که با نظریه‌ای که طبیعت را در مقیاسهای کوچکتر توصیف می‌کند، متناظر است. اما در فیزیک، کوچکترین طول بنیادینی وجود دارد به‌نام طول پلانک، که در آن مقیاس، نظریه M ، شاید بتواند طبیعت را توصیف نماید.



(شکل ۷ ــ ۵)
اندازه شتاب‌دهنده‌ای که برای کاوش فاصله‌هایی به کوچکی طول پلانک به‌کار می‌رود، باید از قطر منظومه خورشیدی بزرگتر باشد.

اما گسترش تازهٔ هیجان‌انگیزی روی داده است که به معنای آن است که شاید بتوانیم دست‌کم برخی از اژدهاهای نظریه اِم را آسانتر (و ارزانتر) کشف کنیم. همان‌گونه که در بخش ۲ و ۳ گفتیم، در شبکه مدلهای نظریه M، فضازمان دارای ده یا یازده بعد است. تا همین اواخر، پنداشته می‌شد که شش یا هفت بعد اضافی همگی درهم پیچیده و بسیار کوچکند، مانند یک تار موی انسان (شکل ۷ ــ ۶).

اگر یک تار مو را زیر ذره‌بین بگذاریم، می‌بینیم دارای ضخامت و کلفتی است، اما با چشم معمولی مانند یک خط و بدون بعد دیگری به

(شکل ۷ ــ ۶)

یک تار مو برای چشم غیر مسلح چون یک خط است؛ تنها بعد آن طول است. به همین سان، فضازمان به نظر ما چهار بعدی می‌رسد، اما چنانچه با ذرات پر انرژی کاویده شود، ده یا یازده بعدی به نظر خواهد رسید.

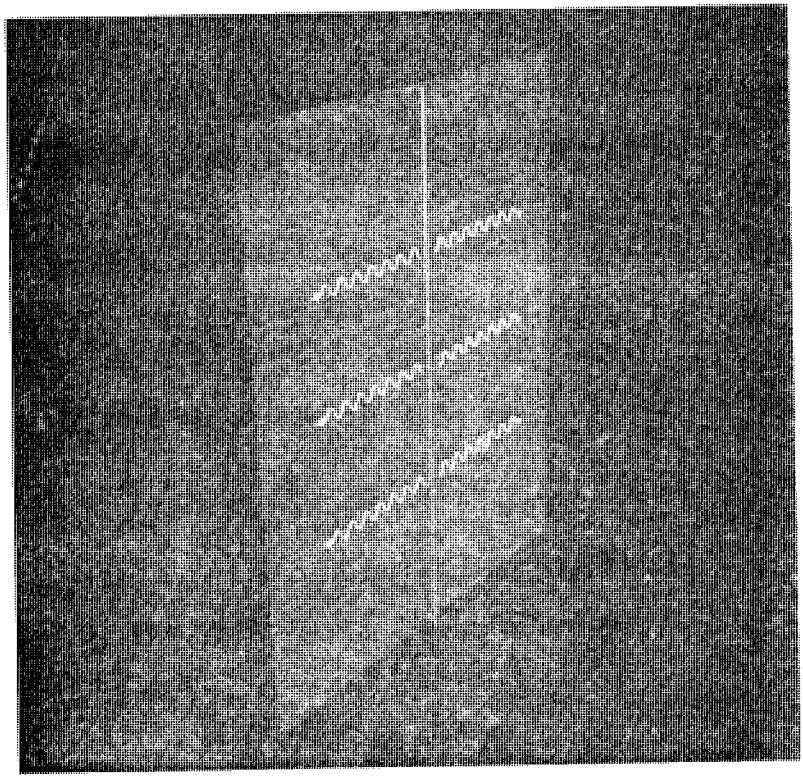
نظر می‌رسد. فضازمان ممکن است همین‌گونه باشد: در مقیاس طولی انسانی، اتمی یا حتی فیزیک هسته‌ای، ممکن است چهار بعدی و کمابیش تخت به نظر برسد. اما از سوی دیگر اگر با ذرات بسیار پرانرژی به کنکاش فاصله‌ای بسیار ریز بپردازیم، خواهیم دید که فضازمان ده یا یازده بعدی است.

اگر همه ابعاد اضافی بسیار کوچک باشند، مشاهده‌شان خیلی دشوار خواهد بود. با این همه، به تازگی پیشنهاد شده است که یک یا چندتا از ابعاد اضافی ممکن است نسبتاً بزرگ یا حتی نامحدود باشند. امتیاز بزرگ این اندیشه آن است که (دست‌کم برای آدم اثبات‌گرایی مانند من) ممکن است با نسل بعدی شتاب‌دهنده‌های ذره یا با اندازه‌گیریهای ریز دامنه نیروی گرانشی، آزمون‌پذیر باشد. چنین مشاهداتی می‌تواند نظریه را ابطال کند یا به‌صورت تجربی حضور دیگر ابعاد را تأیید نماید.

ابعاد اضافی بزرگ، گسترش نوین هیجان‌انگیزی در جستجوی ما برای مدل یا نظریه فرجامین هستند و متضمن آن‌اند که ما در جهانی پوسته‌ای (brane world) ــ رویه یا پوسته‌ای چهاربعدی در فضازمانی با ابعاد بیشتر ــ زندگی می‌کنیم.

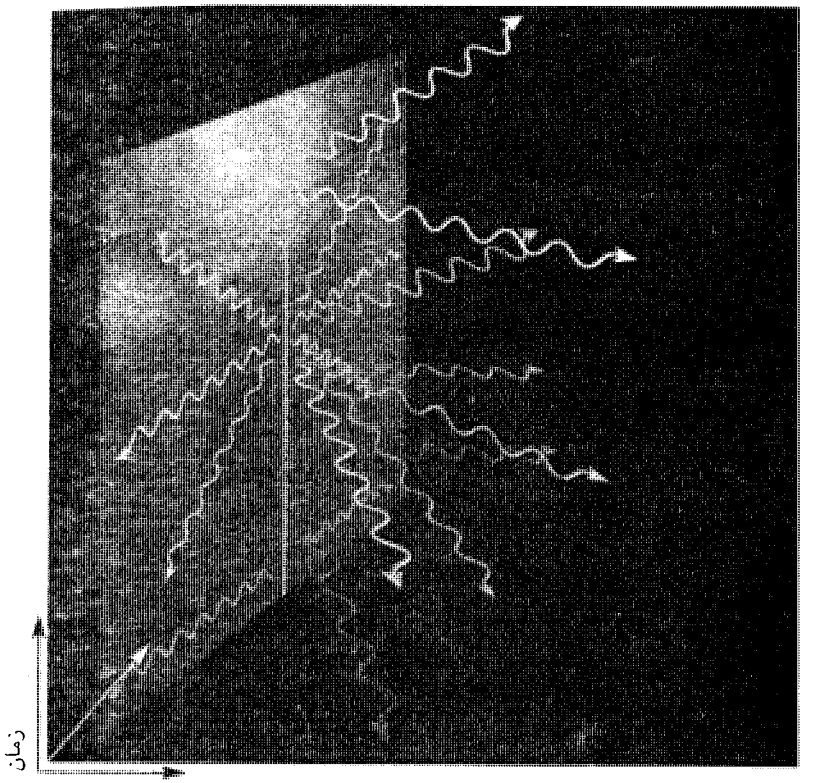
ماده و نیروهای ناگرانشی مانند نیروی الکتریکی در پوسته می‌گنجند. پس هر چیزی بجز گرانش، همان‌گونه که در چهاربعد رفتار می‌کند، عمل می‌نماید. به‌ویژه نیروی الکتریکی میان هسته یک اتم و الکترونهای گرد آن، با افزایش فاصله با نرخ درستی افت می‌کند به گونه‌ای که از فرو افتادن الکترون به درون هسته جلوگیری کرده و موجب پایداری اتم می‌گردد (شکل ۷ ــ ۷).

این بااصل انسانی همخوانی داردکه می‌گوید جهان باید جای مناسبی برای زندگی هوشمند باشد: اگر اتمها پایدار نبودند، دیگر ما وجود نداشتیم که جهان را بنگریم و بپرسیم چرا چهاربعدی به نظر می‌رسد.



(شکل ۷ ـ ۷) *جهانهای پوسته‌ای*
نیروی الکتریکی به پوسته محدود می‌شود و با افزایش فاصله با نرخ درستی افت می‌کند به گونه‌ای که از فرو افتادن الکترون به درون هسته جلوگیری کرده موجب پایداری اتمها می‌گردد.

از سوی دیگر گرانش، به‌صورت فضای خمیده به همه حجم فضازمانی که ابعاد بیشتری دارد، رخنه می‌کند. به دیگر سخن گرانش به گونه‌ای متفاوت از دیگر نیروهایی که تجربه می‌کنیم، رفتار می‌کند: از آنجا که گرانش به ابعاد اضافی گسترش می‌یابد، با افزایش فاصله، بیش از آنچه انتظار داریم، افت می‌کند (شکل ۷ ـ ۸).

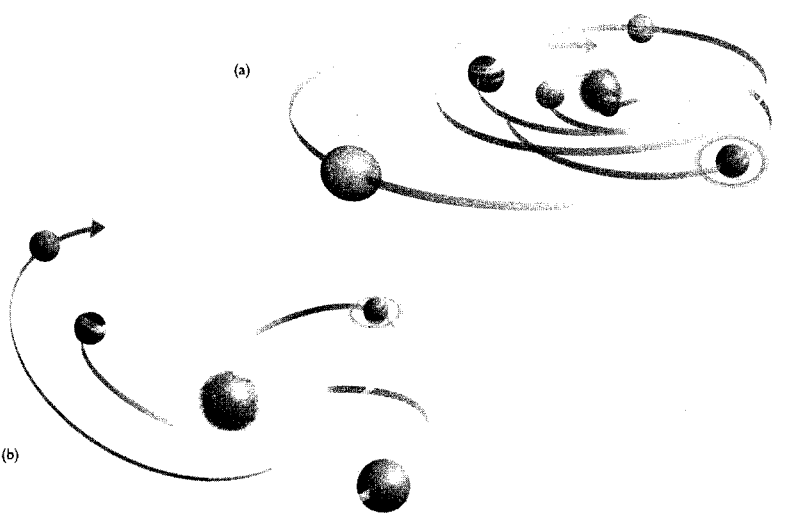


(شکل ۷ ـ ۸)

گرانش هم روی پوسته عمل می‌کند و هم به ابعاد اضافی گسترش می‌یابد. افت گرانش نسبت به فاصله، در ابعاد اضافی، سریعتر از افت آن در فضازمان چهاربعدی است.

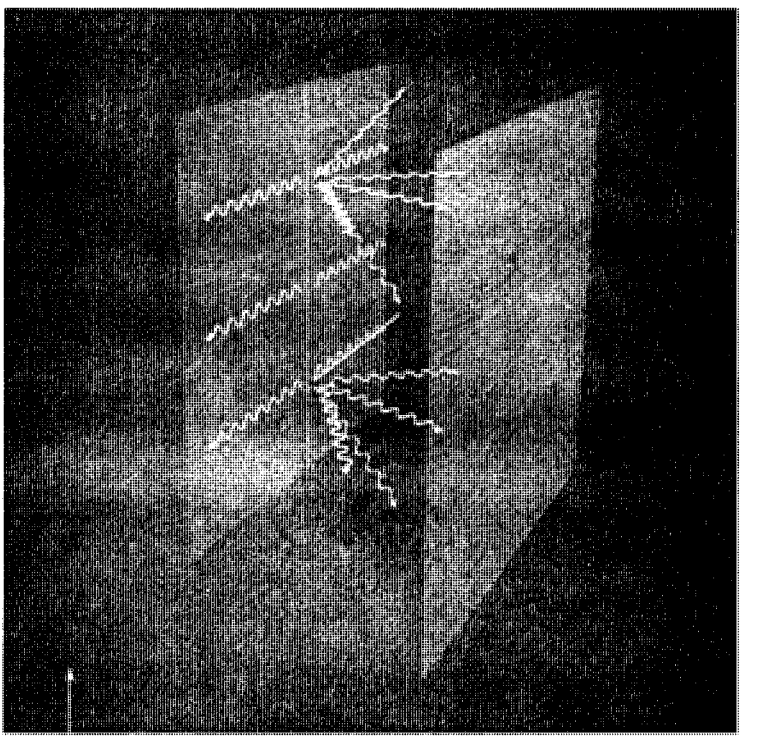
چنانچه این افت سریعتر نیروی گرانش، به فاصله‌های اخترشناسی گسترش می‌یافت، تأثیر آن را بر مدار سیاره‌ها مشاهده می‌کردیم. درواقع مدار آنها ناپایدار می‌شد و همان‌گونه که در بخش ۳ گفتیم سیاره‌ها با خورشید برخورد می‌کردند یا در تاریکی و سرمای فضای میان ستاره‌ای رها می‌شدند (شکل ۷ ــ ۹).

اما چنانچه ابعاد اضافی، روی پوسته دیگری که از پوسته محل زندگی ما خیلی دور نباشد، پایان پذیرند، این اتفاق روی نخواهد داد.



(شکل ۷ ــ ۹)
اگر نیروی گرانشی در فاصله‌های زیاد، افت سریعتری داشته باشد، مدارهای سیارات ناپایدار خواهد شد. سیاره‌ها یا به روی خورشید فرو می‌افتند (a) یا از بند کشش آن یکسره می‌گریزند (b).

آن‌گاه گرانش نخواهد توانست در فاصله‌هایی که از فضای میان پوسته‌ها بیشترند، آزادانه گسترش یابد بلکه مانند نیروهای الکتریکی، به‌طور مؤثری به پوسته محدود خواهد شد و با نرخ درستی افت خواهد کرد آنچنان که مدارهای سیاره‌ها پایدار بمانند (شکل ۷ ـ ۱۰).



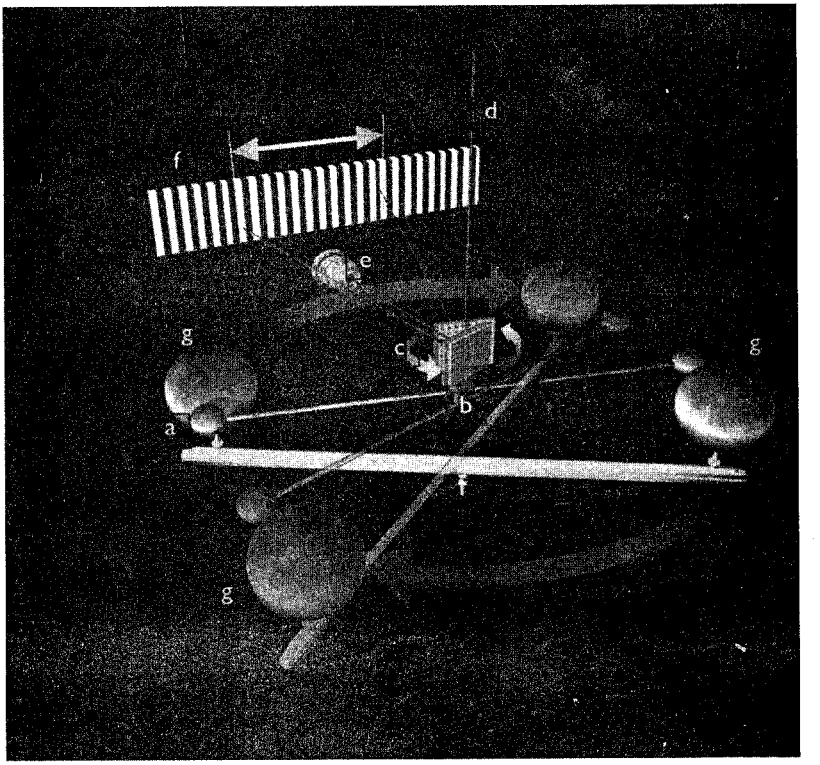
(شکل ۷ ـ ۱۰)

وجود یک پوسته دوم در نزدیکی جهان پوسته‌ای ما از گسترش بیشتر گرانش به ابعاد اضافی جلوگیری می‌کند و به معنای آن است که در فاصله‌های بیش از فضای میان دو پوسته، افت گرانش به همان اندازه‌ای است که در فضای چهار بعدی سراغ داریم.

از سوی دیگر برای فاصله‌هایی که از فضای میان پوسته‌ها کمترند، گرانش با سرعت بیشتری تغییر خواهد کرد. نیروی بسیار کوچک گرانشی میان چیزهای سنگین با دقت در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است اما تاکنون اثرات پوسته‌هایی که به اندازه کمتر از چند میلیمتر از هم دورند، آشکار نشده است. اندازه‌گیریهای تازه‌ای در فاصله‌های کوتاهتر در حال انجام می‌باشد (شکل ۷ ـ ۱۱).

در این جهان پوسته‌ای، ما بر روی پوسته‌ای زندگی می‌کنیم اما در نزدیکی ما یک پوسته «سایه» دیگر وجود خواهد داشت: از آنجاکه نور به پوسته‌ها محدود می‌شود و در فضای میان پوسته‌ای منتشر نمی‌گردد، جهان سایه را نمی‌توان دید. اما نفوذ گرانشی ماده را بر پوسته سایه احساس خواهیم کرد. در پوسته ما، به نظر می‌رسد چنین نیروهای گرانشی توسط منابعی که به راستی «تاریک»اند تولید شده‌اند و تنها از طریق گرانششان قادر به آشکارسازی آنها می‌باشیم (شکل ۷ ـ ۱۲). درواقع به نظر می‌رسد برای توضیح سرعت کنونی گردش ستارگان گرد مرکز کهکشان ما، باید بیش از ماده قابل رؤیت، جرم وجود داشته باشد.

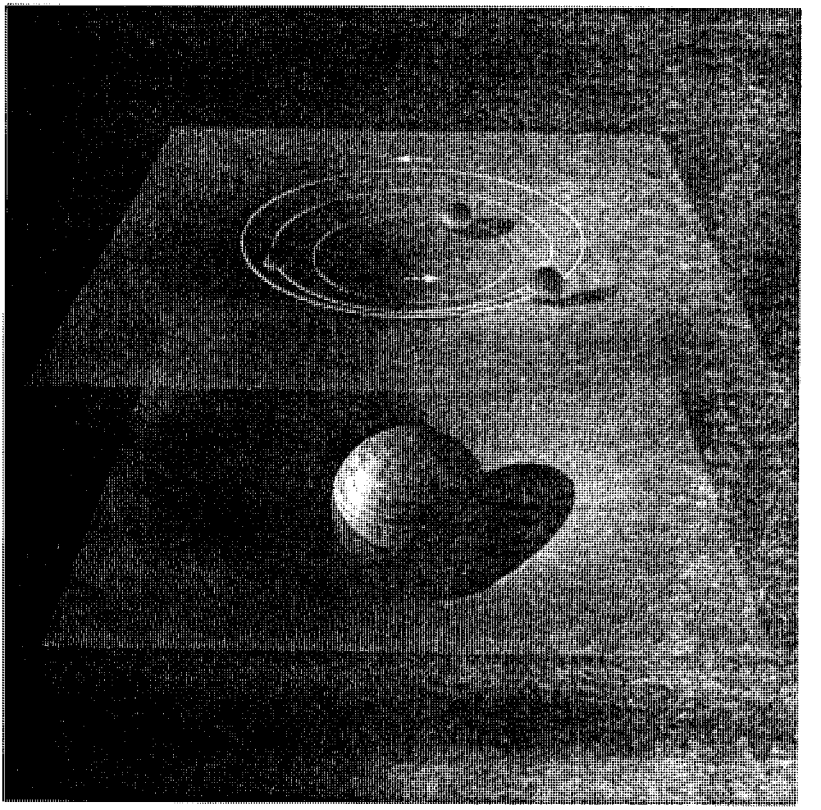
ماده گم شده شاید ناشی از وجود برخی گونه‌های عجیب ذره مانند WIMP (ذرات پرجرم با اندرکنش ضعیف) یا اکسیونها (ذرات ابتدایی بسیار سبک) در جهان ما باشد. اما ماده گم شده نیز می‌تواند گواهی از وجود یک جهان سایه با ماده درونش باشد که انسانهای کم‌مایه‌اش در جستجوی جرم گم‌شده‌ای هستند که گردش ستارگان سایه را پیرامون مرکز کهکشان سایه توجیه کند (شکل ۷ ـ ۱۳).



(شکل ۷ ــ ۱۱)

آزمون کاوندیش (Cavendish)

یک پرتولیرز (e) هر گونه انحراف یک وزنه دامبل را که بر صفحه کالیبره شده (f) تصویر گردیده است، آشکار می‌سازد. دو گوی سربی کوچک (a) که با یک آینه کوچک (c) به دامبل (b) وصل شده‌اند، توسط یک نخ پیچشی، آزادانه معلق نگه داشته شده‌اند. دو گوی سربی بزرگ (g) روی یک میله چرخان، در نزدیکی گویهای کوچک قرار دارند. زمانی که گویهای سربی بزرگتر به طرف محل روبه‌رو به گردش در می‌آیند، دامبل نوسان می‌کند و سپس در محل تازه‌ای، ثابت می‌ایستد.



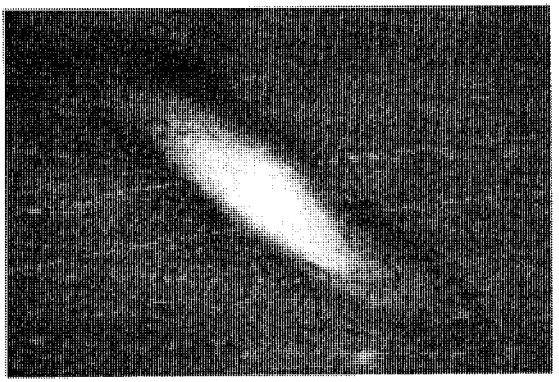
(شکل ۷ ــ ۱۲)

در سناریوی جهان پوسته‌ای، ممکن است سیاره‌ها گرد یک جرم تاریک که بر پوسته سایه قرار دارد، بگردند. زیرا نیروی گرانشی به درون ابعاد اضافی منتشر می‌شود.

گواهی برای وجود ماده تاریک

مشاهدات کیهانی گوناگون تویاً پیشنهاد می‌کنند که در کهکشان ما و دیگر کهکشانها باید ماده بسیار زیادتری نسبت به آنچه می‌بینیم، وجود داشته باشد. متقاعدکننده‌ترین این مشاهدات آن است که ستارگان موجود در پیرامون کهکشانهای مارپیچی مانند راه شیری خودمان، با سرعتی در مدار خود حرکت می‌کنند که بسیار بیشتر از سرعتی است که لازم است تا کشش گرانشی همه ستارگانی که مشاهده می‌کنیم، بتواند آنها را در مدارشان نگه دارد.

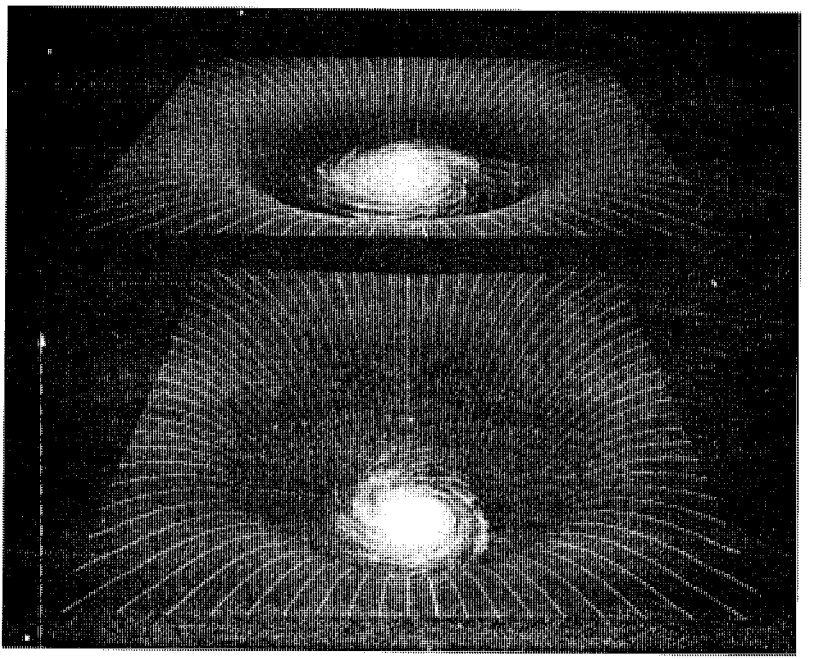
از سال ۱۹۷۰ دریافته‌ایم که میان سرعتهای گردشی اندازه‌گیری شدهٔ ستارگان موجود در ناحیه‌های بیرونی کهکشانهای مارپیچی (که با نقطه نشان داده شده است) و سرعتهای گردشی که طبق قوانین نیوتن و برپایه توزیع ستارگان مرئی در کهکشان محاسبه شده‌اند (با خط پر در نمودار نشان داده شده است) اختلاف وجود دارد. این اختلاف دلالت بر آن دارد که در بخشهای بیرونی کهکشانهای مارپیچی، ماده بسیار بیشتری باید وجود داشته باشد.



سرشت ماده تاریک

کیهان‌شناسان اینک برآنند که در نواحی مرکزی کهکشانهای مارپیچی عمدتاً ستارگان معمولی وجود دارد، اما در نواحی پیرامونی، بیشتر جرم از ماده تاریکی تشکیل شده است که مستقیماً نمی‌توانیم ببینیم. یکی از مسائل بنیادین عبارت است از کشف سرشت شکل غالب ماده تاریک در نواحی پیرامونی کهکشانها. پیش از سالهای هشتاد سده بیستم، معمولاً فرض می‌شد که این ماده تاریک همان ماده معمولی است که از پروتون‌ها، نوترون‌ها و الکترون‌ها تشکیل شده است اما به گونه‌ای که به سادگی قابل آشکارسازی نباشد: شاید از ابرهای گاز، یا MACHO (چیزهای پر جرم هاله مانند) همچون کوتوله‌های سفید یا ستارگان نوترونی و یا حتی سیاهچاله‌ها، تشکیل شده باشد.

اما بررسیهایی که به تازگی درباره شکل‌گیری کهکشانها انجام شده است، کیهان‌شناسان را به این باور رساند که بخش عمده‌ای از ماده تاریک باید به شکلی متفاوت از ماده معمولی باشد. شاید ماده تاریک از جرمهای ذرات بنیادین بسیار سبک همچون آکسیون‌ها (axions) یا نوترینوها (neutrinos) درست شده باشد. حتی شاید از انواع عجیب‌تر ذرات، همچون WIMP ــ (ذرات پر جرم با بر هم کنش ضعیف) ــ که توسط نظریه‌های مدرن ذرات بنیادین پیش‌بینی شده ولی در آزمایش آشکار نشده‌اند، تشکیل گردیده باشد.



سرزمین نامسکون ابعاد اضافی که میان پوسته‌ها قرار دارد.

(شکل ۷ ــ ۱۳)

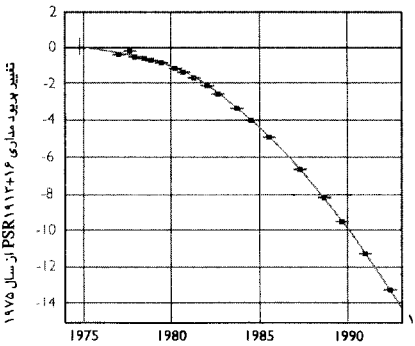
از آنجا که نور در ابعاد اضافی منتشر نمی‌شود، نمی‌توانیم کهکشان سایه را بر روی پوسته سایه ببینیم. اما گرانش در ابعاد اضافی منتشر می‌شود و از این‌رو ماده تاریک که یارای دیدنش را نداریم، بر گردش کهکشان ما تأثیر می‌گذارد.

به جای آنکه ابعاد اضافی روی یک پوسته دوم پایان یابند، می‌توان امکان دیگری را در نظر گرفت: ابعاد اضافی نامحدود ولی به شدت خمیده‌اند، مانند یک زین اسب (شکل ۷ ــ ۱۴). **لیزا رندال** (Lisa Randall)

(شکل ۷ ــ ۱۴)

در مدل رندال ــ ساندرام، تنها یک پوسته وجود دارد (در اینجا در یک بعد نشان داده شده است). ابعاد اضافی تا بی‌نهایت گسترش می‌یابند ولی مانند زین خم شده‌اند. این خمیدگی از گسترش میدان گرانشی ماده روی پوسته به دوردستها در ابعاد اضافی جلوگیری می‌کند.

و **رامان ساندرام** (Raman Sundrum) نشان دادند که چنین خمیدگی‌ای، تا اندازه‌ای مانند یک پوسته دوم رفتار می‌کند: نفوذ گرانشی چیزی روی پوسته، محدود به ناحیه کوچکی در همسایگی پوسته می‌شود و در ابعاد اضافی به بی‌نهایت گسترش نمی‌یابد. همانند مدل پوستهٔ سایه، میدان گرانشی، افت درستی در فاصله‌های دور خواهد داشت تا بتواند



نمودار تپ اختر دوتایی PSR۱۹۱۳+۱۶ از سال ۱۹۷۵

تپ اخترهای دوتایی

نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که اجسام سنگینی که زیر نفوذ گرانش در حرکتند، امواج گرانشی گسیل می‌کنند. امواج گرانشی همانند امواج نور، انرژی را از چیزهایی که این امواج را گسیل می‌دارند، به بیرون منتقل می‌سازد. اما میزان از دست دادن انرژی معمولاً بسیار کم و به همین خاطر مشاهده‌اش بسیار دشوار است. برای نمونه، گسیل امواج گرانشی، موجب می‌شود که زمین آرام آرام به‌سوی خورشید به‌طور مارپیچی حرکت کند، ولی $۱۰^{۲۷}$ سال طول می‌کشد تا به یکدیگر برخورد کنند!

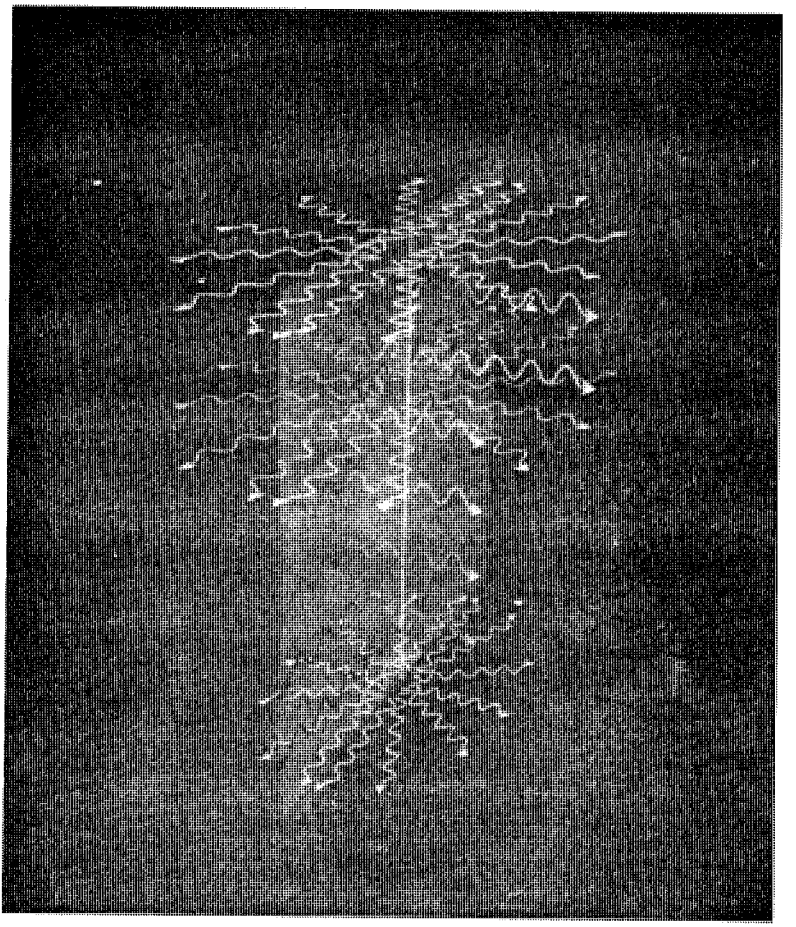
اما در سال ۱۹۷۵ راسل هالس (Russell Hulse) و جوزف تیلور (Joseph Taylor) تپ اختر دوتایی PSR1913+16 را کشف کردند که شامل دو ستاره نوترونی فشرده است که به فاصله بیشینهٔ فقط یک شعاع خورشیدی گرد یکدیگر می‌چرخند. بر پایه نسبیت عام، حرکت سریع به معنای آن است که پریود گردشی این سیستم باید در مقیاس زمانی بسیار کوتاهتری کاهش یابد، زیرا سیگنال گرانشی بسیار نیرومندی گسیل می‌شود. تغییر پیش‌بینی شده توسط نسبیت عام، با مشاهدات دقیق هالس و تیلور همخوانی بسیار خوبی دارد. این دو تن، پارامترهای مداری سیستم را اندازه‌گیری کرده‌اند و نشان دادند که از سال ۱۹۷۵، پریود مداری بیش از ده ثانیه کاهش یافته است. در سال ۱۹۹۳ آنها جایزه نوبل را برای تأیید نسبیت عام از آن خود ساختند.

مدارهای سیارات و اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی نیروی گرانشی را توضیح دهد، اما در فاصله‌های کوتاه، گرانش تغییرات تندتری خواهد داشت.

اما تفاوت مهمی میان این مدل رندال ـ ساندرام و مدل پوسته سایه وجود دارد. اجسامی که زیر نفوذ گرانش جابه‌جا می‌شوند، امواج گرانشی، موجکهایی از خمیدگی که با سرعت نور در فضازمان حرکت می‌کنند، تولید خواهد نمود. موجهای گرانشی همانند امواج الکترومغناطیسی، انرژی حمل خواهند کرد و مشاهدات مربوط به تپ‌اختر دوتایی PSR ۱۹۱۳ + ۱۶ این پیش‌بینی را تأکید کرده است.

اگر به راستی روی پوسته‌ای در فضازمانی با ابعاد اضافی زندگی می‌کنیم، امواج گرانشی که با حرکت اجسام روی پوسته ایجاد می‌شوند، به ابعاد دیگر سیر خواهند کرد. اگر پوستهٔ سایهٔ دومی وجود داشته باشد، امواج گرانشی به عقب بازتابانده می‌شوند و میان دو پوسته گیر می‌افتند. از سوی دیگر چنانچه تنها یک پوسته وجود داشته باشد و ابعاد اضافی تا بی‌نهایت ادامه بیابند، همانند مدل رندال ـ ساندرام، امواج گرانشی یکسره می‌گریزند و انرژی را از جهان پوسته‌ای ما خارج می‌سازند (شکل ۷ ـ ۱۵).

به نظر می‌رسد این امر، یکی از اصول بنیادین فیزیک یعنی قانون بقای انرژی را نقض می‌کند. مقدار کل انرژی یکسان باقی می‌ماند، اما تنها به دلیل آنکه دیدگاه ما از رویداد محدود به پوسته است، می‌پنداریم قانون نقض شده است. فرشته‌ای که می‌تواند ابعاد اضافی را ببیند، می‌داند که انرژی ثابت مانده است، اما فقط پخش‌تر شده است.



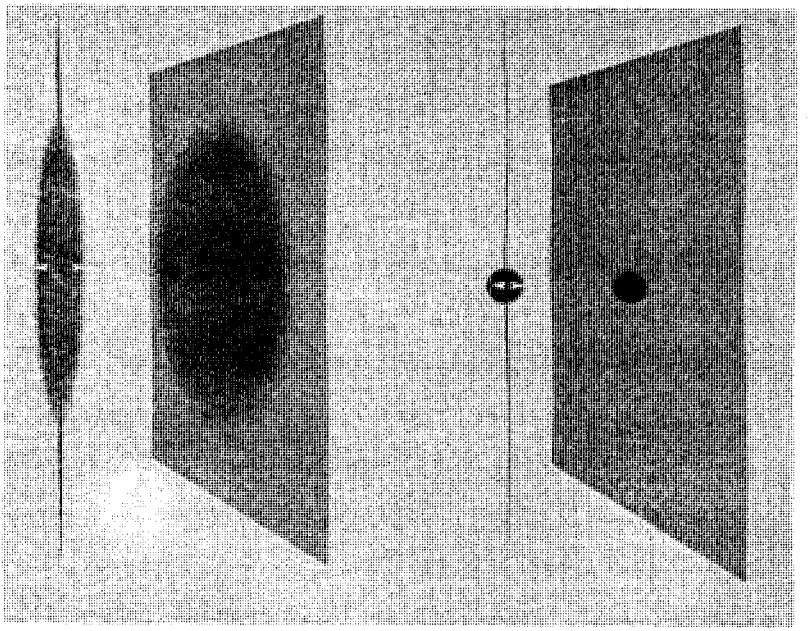
(شکل ۷ ــ ۱۵)

در مدل رندال ــ ساندرام، امواج گرانشی با طول موج کوتاه، می‌توانند انرژی را از مبادی موجود روی پوسته به بیرون منتقل سازند و ظاهراً موجب نقض اصل بقای انرژی گردند.

طول موج امواج گرانشی که به وسیله دو ستاره گردان گرد یکدیگر تولید شده‌اند، از شعاع خمیدگی زین اسبی در ابعاد اضافی بسیار بزرگتر است. این بدان معناست که آنها مانند نیروی گرانشی، در ناحیه کوچکی در همسایگی پوسته محدود می‌شوند و در ابعاد اضافی پخش نمی‌شوند و انرژی زیادی از پوسته خارج نمی‌کنند. از سوی دیگر، امواج گرانشی که از مقیاس خمیدگی ابعاد اضافی کوچکترند، به آسانی از پیرامون پوسته می‌گریزند.

سیاهچاله‌ها احتمالاً تنها سرچشمه مقادیر عمده امواج گرانشی کوتاه هستند. سیاهچاله‌ای که روی پوسته است به سیاهچاله‌ای که روی ابعاد اضافی است امتداد می‌یابد. اگر سیاهچاله کوچک باشد، کمابیش گرد است، یعنی تقریباً به همان اندازه خودش روی پوسته، به ابعاد اضافی امتداد می‌یابد. از سوی دیگر یک سیاهچاله بزرگ روی پوسته، به یک کلوچه سیاه امتداد می‌یابد و به ناحیه‌ای در اطراف پوسته محدود می‌شود که کلفتی آن بسیار کمتر (در ابعاد اضافی) از پهنای آن (روی پوسته) می‌باشد (شکل ۷ ـ ۱۶).

همانگونه که در بخش ۴ گفتیم، نظریه کوانتومی بر آن است که سیاهچاله‌ها یکسره سیاه نیستند: آنها همانند اجسام داغ، همه نوع ذرات و پرتو از خود گسیل می‌کنند. ذرات و تابش نورمانند، در امتداد پوسته گسیل می‌شوند زیرا ماده و نیروهای ناگرانشی همچون الکتریسیته به پوسته محدود خواهند بود. اما سیاهچاله‌ها امواج گرانشی نیز گسیل می‌کنند که به پوسته محدود نمی‌شوند و به ابعاد اضافی نیز سیر خواهند کرد. اگر سیاهچاله بزرگ و کلوچه‌مانند باشد، امواج گرانشی نزدیک پوسته باقی می‌مانند. یعنی سیاهچاله انرژی (و نیز جرم بر پایه $E = mc^2$)



(شکل ۷ ــ ۱۶)
سیاهچاله‌ای که در جهان ما روی پوسته قرار دارد، به ابعاد اضافی گسترش پیدا می‌کند. اگر کوچک باشد، کمابیش گرد است، اما یک سیاهچاله بزرگ که روی پوسته است، به صورت سیاهچاله کلوچه مانند، به بعد اضافی گسترش می‌یابد.

از دست می‌دهد و می‌توان انتظار داشت که نرخ این کاهش، برابر است با میزان کاهش انرژی سیاهچاله در فضازمان چهاربعدی.

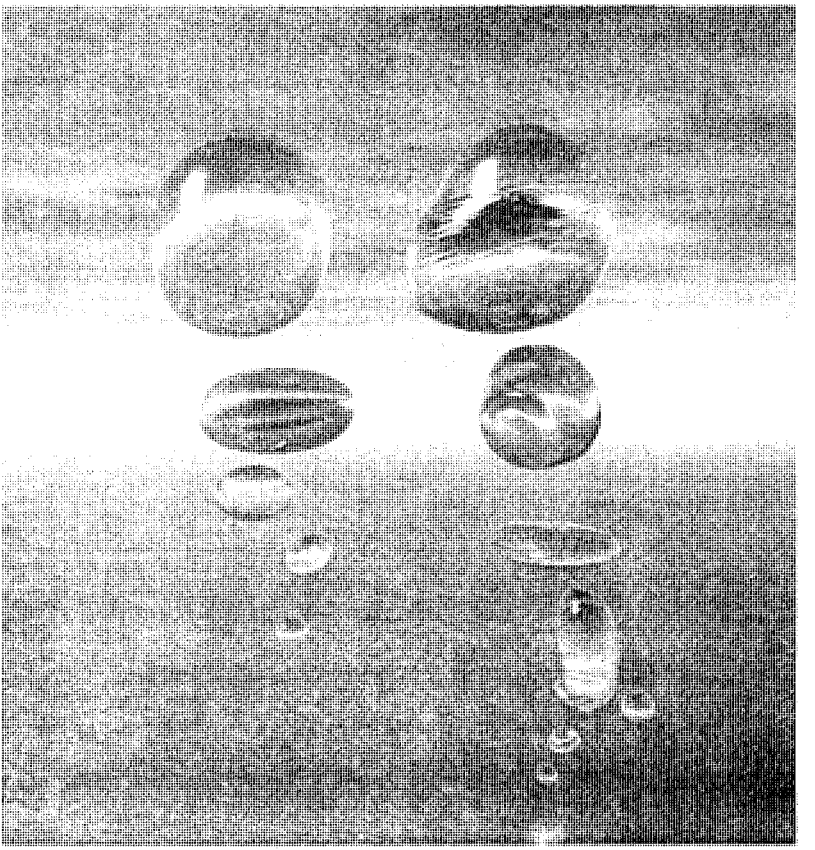
پس سیاهچاله رفته رفته بخار و اندازه‌اش کوچک می‌شود تا آنکه از شعاع خمیدگی ابعاد اضافی زین اسبی، کوچکتر گردد. از این لحظه،

امواج گرانشی که سیاهچاله گسیل می‌کند، آزادانه به ابعاد اضافی می‌گریزند. برای ناظر روی پوسته، سیاهچاله ــ یا آن‌گونه که **میچل** می‌نامیدش (بخش ۴)، ستاره تاریک ــ گویی پرتو تاریک گسیل می‌کند، تابشی که مستقیماً از روی پوسته مشاهده نمی‌شود اما وجودش از این واقعیت استنتاج می‌شود که سیاهچاله در حال از دست دادن جرم است.

این بدان معناست که تابش فرجامین یک سیاهچاله در حال بخار شدن کم‌توان‌تر از مقدار واقعیش به نظر می‌رسد. این می‌تواند دلیلی باشد برای عدم مشاهده انفجار پرتوهای گاما که به سیاهچاله‌های در حال مرگ نسبت می‌دهند. هرچند توضیح پیش پا افتاده‌تر دیگری هم هست که می‌گوید سیاهچاله‌های زیادی که جرمشان آن‌قدر کم باشد که در طول عمر کنونیِ جهان بخار شوند، وجود نداشته است.

تابش سیاهچاله‌های جهانِ پوسته‌ای ناشی از افت و خیزهای کوانتومی ذرات، بَر، و بیرون پوسته است اما پوسته‌ها، همچون هر چیز دیگر در جهان، خود دچار افت و خیزهای کوانتومی هستند. این افت و خیزها می‌توانند موجب پیدایش و محو خودبه‌خودی پوسته‌ها شوند. آفرینش کوانتومی پوسته تا اندازه‌ای مانند شکل‌گیری حبابها در آب جوشان است. آب مایع از میلیاردها میلیارد ملکول H_2O تشکیل شده است که با پیوندهایی میان نزدیکترین همسایگان به یکدیگر فشرده شده‌اند. زمانی که آب داغ می‌شود، ملکولها تندتر حرکت و به یکدیگر برخورد می‌کنند، گاه این برخوردها چنان سرعت بالایی به ملکولها می‌دهند که گروهی از آنان پیوندهای خود را شکسته و حباب کوچکی از بخار که با آب احاطه شده است، تشکیل می‌دهند. آنگاه حباب به‌طور تصادفی رشد می‌کند یا ازمیان می‌رود و ملکولهای بیشتری بخار می‌شوند یا برعکس. بیشتر حبابهای بخار دوباره مایع می‌شوند اما برخی

از آنان به اندازه بحرانی معینی رشد می‌کنند که فراتر از آن قطعاً به رشد خود ادامه می‌دهند. ناظری که جوشیدن آب را می‌بیند، همین حبابهای گسترش‌یابنده را مشاهده می‌کند (شکل ۷ ـ ۱۷).



(شکل ۷ ـ ۱۷)
شکل‌گیری جهان پوسته‌ای می‌تواند همانند شکل‌گیری یک حباب بخار در آب جوش باشد.

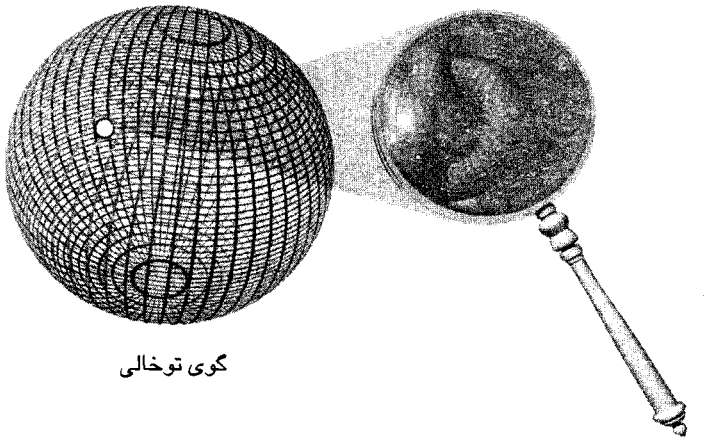
رفتار جهانهای پوسته‌ای به همین صورت است. اصل عدم‌قطعیت اجازه می‌دهد که جهانهای پوسته‌ای چونان حبابی از هیچ به‌وجود آیند. پوسته، سطح حباب را تشکیل می‌دهد و درون آن فضایی با ابعاد بالاتر قرار دارد. حبابهای خیلی کوچک گرایش دارند که باز به هیچ فرو پاشند، اما حبابی که توسط افت و خیزهای کوانتومی به اندازه بحرانی معین برسد، احتمالاً به رشد خود ادامه می‌دهد. مردمانی که روی پوسته

می‌زیند (مانند ما) می‌پندارند که جهان در حال گسترش است. چنین می‌ماند که کهکشانها را روی سطح بادکنکی نقاشی و بادش کنند. کهکشانها از یکدیگر دور می‌شوند اما هیچ کهکشانی در مرکز گسترش نیست. باید امیدوار باشیم که کسی بادکنک را با یک سوزن کیهانی نترکاند.

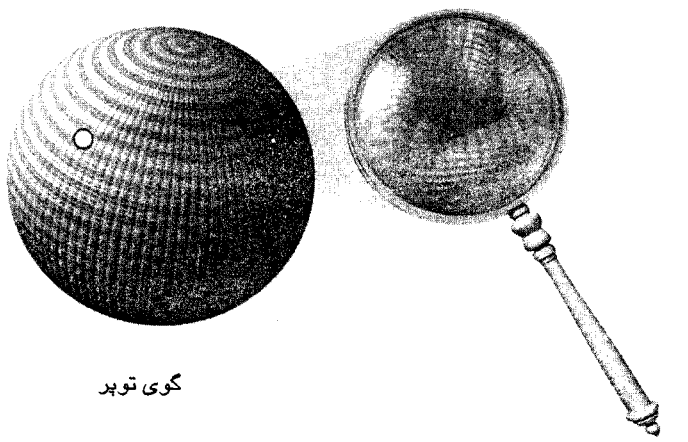
مطابق با پیشنهاد بی‌کرانگی که در بخش ۳ آمد، آفرینش خودانگیخته جهان پوسته‌ای، تاریخی در زمان موهومی دارد مثل یک پوست گردو: یک گوی چهاربعدی مانند سطح زمین اما با دو بعد بیشتر.

تفاوت مهم آن است که پوست گردویی که در بخش ۳ توصیف شد، اساساً توخالی بود: گوی چهاربعدی مرز و کرانه هیچ چیزی نبود و شش یا هفت بعد دیگر فضازمان که نظریه اِم پیش‌بینی می‌کند، همگی دچار خمیدگی می‌گردیدند و حتی از پوست گردو کوچکتر می‌شدند. اما در تصویر نوین جهان پوسته‌ای، پوست گردو پر می‌شود: تاریخ زمان موهومیِ پوسته‌ای که بر آن زندگی می‌کنیم، گویی چهاربعدی می‌باشد که به نوبه خود مرز و کرانه یک حباب پنج‌بعدی است و پنج یا شش بعد برجای مانده، درهم پیچیده و بسیار کوچک می‌شوند (شکل ۷ ـ ۱۸).

این تاریخ پوسته در زمان موهومی، تاریخ پوسته در زمان حقیقی را رقم خواهد زد. در زمان حقیقی، پوسته به گونه‌ای تورمی و شتابنده، بدان‌سان که در بخش ۳ از آن سخن گفتیم، گسترش خواهد یافت. یک پوست گردوی کاملاً هموار و گرد، محتملترین تاریخ حباب در زمان موهومی است، هرچند که در زمان حقیقی، متناظر با پوسته‌ای است که به گونه‌ای تورمی برای همیشه گسترش می‌یابد. کهکشانها بر روی چنین پوسته‌ای شکل نخواهند گرفت و زندگی هوشمند بر آن پدیدار نخواهد شد. از سوی دیگر، تاریخهای زمان موهومی که کاملاً هموار و گرد نباشند، احتمال پیدایش کمتری دارند ولی می‌توانند در زمان حقیقی، متناظر با رفتار پوسته‌ای باشند که در آغاز با تورمی شتابنده گسترش می‌یابد، اما سپس آرام می‌شود. در طی این گسترش با شتاب کاهشی، کهکشانها می‌تواند شکل بگیرند و زندگی هوشمند پدیدار گردد. پس بر پایه اصل انسانی که در بخش ۳ آمد، موجودات هوشمند تنها شاهد پوست گردوهای نسبتاً مودار خواهند بود و خواهند پرسید چرا جهان در آغاز کاملاً هموار نبود.



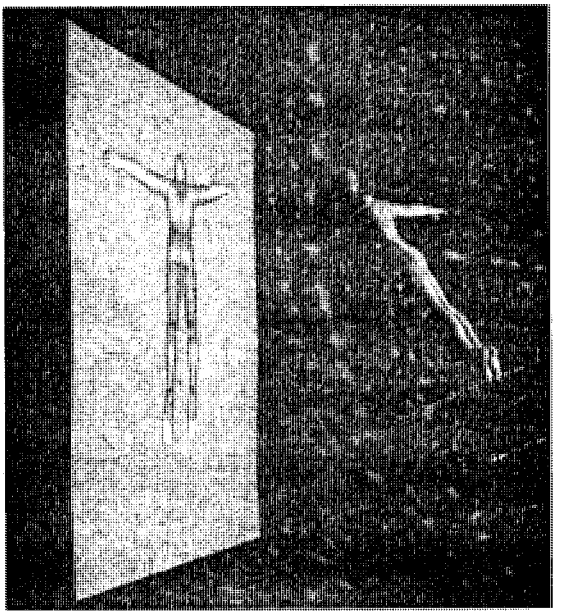
گوی توخالی



گوی توپر

(شکل ۷ ــ ۱۸)

جهان پوسته‌ای تصویری از سرچشمه جهان به‌دست می‌دهد که با آنچه در بخش ۳ گفتیم فرق دارد. زیرا گوی یا پوست گردوی چهاربعدیِ اندکی پخ شده، دیگر تهی نیست و با بعد پنجم پر شده است.



هالوگرافی

هالوگرافی اطلاعات موجود در ناحیه‌ای از فضا را به سطحی با یک بعد کمتر رمزگذاری می‌کند. همان‌طور که واقعیت زیر نشان می‌دهد، به نظر می‌رسد این یک خاصیت گرانش است: مساحت افق رویداد، تعداد حالتهای درونی یک سیاهچاله را اندازه‌گیری می‌کند. در جهان پوسته‌ای، هالوگرافی، تناظری یک به یک است میان حالتهای جهان چهار بعدی ما و حالتهای موجود در ابعاد اضافی. از دیدگاه اثبات‌گرا، کسی نمی‌تواند مشخص کند کدام توصیف بنیادی‌تر است.

با گسترش پوسته، حجم فضایِ دارای ابعاد بیشتر، در درون پوسته افزایش می‌یابد. سرانجام حبابی بسیار بزرگ وجود خواهد داشت که با

پوسته‌ای که ما بر رویش زندگی می‌کنیم، احاطه شده است. اما آیا به راستی روی پوسته زندگی می‌کنیم؟ برابر با اندیشه هالوگرافی که در بخش ۲ آمد، اطلاعات مربوط به رویدادهای یک ناحیه فضازمان می‌تواند روی کرانه و مرزش رمزگذاری شود. پس شاید به خاطر آنکه سایه‌های رخدادهای درون حباب هستیم و سایه‌هایمان روی پوسته می‌افتد، می‌پنداریم که در جهانی چهاربعدی زندگی می‌کنیم. اما از دیدگاه اثبات‌گرایانه نمی‌توان پرسید کدام واقعیت است، پوسته یا حباب؟ هر دو مدلهای ریاضی‌اند که مشاهدات را توضیح می‌دهند. مختاریم که هر مدلی که مناسبتر است بپذیریم. بیرون پوسته چیست؟ چندین امکان وجود دارد (شکل ۷ ـ ۱۹):

۱ ـ شاید چیزی بیرون آن نباشد. هرچند در بیرون حباب بخار، آب است اما این تنها یک همانندی است که به فهم آغاز جهان کمک می‌کند. می‌توان یک مدل ریاضی را تصور کرد که تنها شامل پوسته‌ای باشد که درونش فضای با ابعاد بالاتر است و بیرونش مطلقاً هیچ چیز حتی فضای تهی نیست. می‌توان پیش‌بینی‌های مدل ریاضی را بدون مراجعه به آنچه بیرون است، محاسبه نمود.

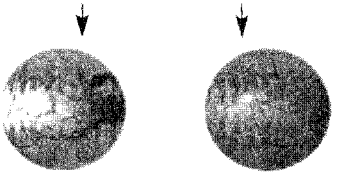
۲ ـ می‌توان مدل ریاضی‌ای داشت که مطابق آن، بیرون حباب به بیرون حباب همانندی، چسبیده باشد. این مدل در عمل هم‌ارز با امکانی است که در بالا مورد بحث قرارگرفت؛ یعنی چیزی بیرون حباب نیست. اما تفاوت آنها روان‌شناسانه است. مردم از اینکه در مرکز فضازمان قرار گیرند، خشنودتر از آن هستند که در لبه فضازمان باشند، اما برای یک اثبات‌گرا، امکان ۱ و ۲ یکسان است.

۳ ـ حباب به فضایی گسترش یابد که تصویر آینه‌ای آنچه درونش است، نباشد. این امکان با آنچه در بالا مورد بحث قرارگرفت، فرق دارد و بیشتر مانند آب جوش است. حبابهای دیگری می‌توانند شکل بگیرند و

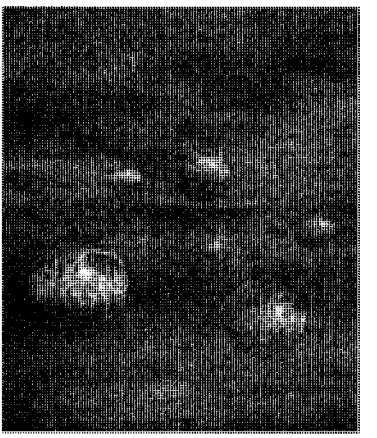
گسترش یابند. اگر با حبابی که ما در آن زندگی می‌کنیم، برخورد کنند و با آن درآمیزند، شاید فاجعه‌ای روی دهد. حتی گفته شده است که شاید خود انفجار بزرگ ناشی از برخورد میان پوسته‌ها بوده باشد.

(شکل ۷ ــ ۱۹)

۱ ــ یک پوسته/ حباب که درونش ابعاد اضافی نهفته است و بیرونش چیزی نیست.



۲ ــ یک حالت ممکن عبارت است از آنکه بیرون پوسته/ حباب به بیرون یک حباب دیگر چسبیده شده باشد.



۳ ــ یک پوسته/ حباب به فضایی گسترش می‌یابد که تصویر آینه‌ای از آنچه درونش هست، نمی‌باشد. در چنین سناریویی، حبابهای دیگری می‌توانند شکل بگیرند و گسترش یابند.

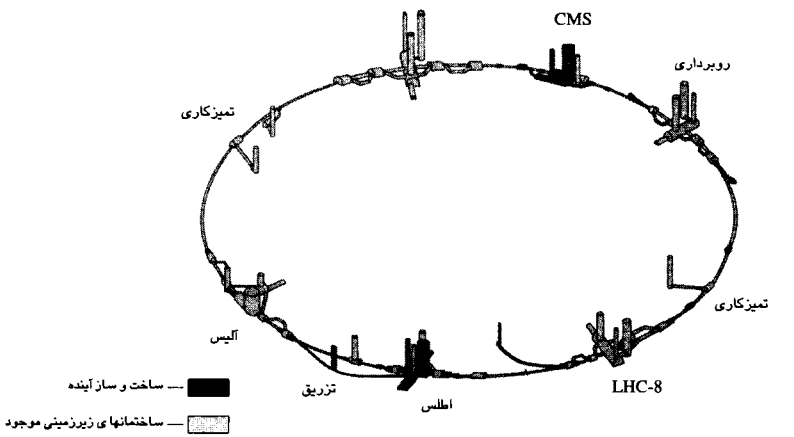
مدلهای جهان پوسته‌ای مانند این، موضوع داغ پژوهش هستند. آنها بسیار نظری‌اند اما انواع تازه‌ای از رفتار را مطرح می‌سازند که با مشاهده، آزمایش می‌شوند. آنها می‌توانند توضیح دهند که چرا گرانش چنین ضعیف به نظر می‌رسد. گرانش می‌تواند در نظریه بنیادین کاملاً قوی باشد، اما گسترش نیروی گرانشی در ابعاد اضافی به معنای آن است که روی پوسته محل زندگی ما، نیروی گرانشی در فاصله‌های زیاد، ضعیف خواهد بود.

یک پیامد این نظریه، عبارت است از آنکه طول پلانک، که کوچکترین فاصله‌ای است که بدون ایجاد یک سیاهچاله می‌توانیم کاوش کنیم، و روی پوسته چهاربعدی ما به خاطر ضعف گرانش، کوچک به نظر می‌رسد، به مراتب بزرگتر خواهد بود. کوچکترین عروسک روسی، آن‌قدرها هم که می‌گویند کوچک نیست و در دسترس شتاب‌دهنده‌های ذره آینده خواهد بود. درواقع اگر ایالات متحده در سال ۱۹۹۴ احساس فقر نکرده و پروژه SSC (ابر برخورددهندهٔ ابر رسانا) را به رغم نیمه ساخته بودن، حذف نکرده بود، شاید کوچکترین عروسک یعنی طول بنیادین پلانک را کشف کرده بودیم. شتاب‌دهنده‌های ذره دیگری همچون LHC (برخورددهنده بزرگ هادرون) در ژنو هم اینک در دست ساخت است (شکل ۷ ـ ۲۰). به کمک آنها و با مشاهدات دیگری همچون تابش زمینه ریز موج کیهانی، شاید بتوانیم مشخص کنیم که روی یک پوسته زندگی می‌کنیم یا نه. اگر پاسخ مثبت باشد، ظاهراً از آن‌روست که اصل انسانی، مدلهای پوسته‌ای را از میان باغ‌وحش بزرگ جهانهایی که نظریه اِم مجاز

دانسته است، برگزیده است. به خوبی می‌توانیم گفته **میراندا** را در نمایش **توفان** شکسپیر چنین بازخوانی کنیم:

آه ای جـــهان نـــوین پـــوسته‌ای تو چه آفریده‌هایی در خود داری[1]

این است جهان درون پوست گردو.



(شکل ۷ ــ ۲۰)

نقشه تونل LEP که زیرساخت موجود و ساخت و ساز آینده برخورددهنده بزرگ هادرون در ژنو سوئیس را نشان می‌دهد.

1. O Brane new world That has such creatures in't.

پیوستها

گزارشی از تازه‌ترین نظریات
استیون هاوکینگ در همایش جی‌آر ۱۷[1]

هفدهمین همایش بین‌المللی نسبیت عام و گرانش (GR17) از ۱۸ تا ۲۳ جولای ۲۰۰۴ در دوبلین پایتخت ایرلند جنوبی برگزار شد. این رشته همایش‌ها، اصلی‌ترین گردهمایی دانشمندانی است که در زمینه نسبیت و گرانش پژوهش می‌کنند.

موضوع همایش، همه زمینه‌های نسبیت و گرانش است و نسبیت عام کلاسیک، اختر فیزیک و کیهان‌شناسی نسبیتی، کارهای تجربی و آزمایشی درباره گرانش و موضوع‌های کوانتومی در این مورد را دربرمی‌گیرد.

سال ۲۰۰۴ از دیدگاه نسبیت عام و گرانش، سالی استثنائی است چرا که شبکه آشکارسازهای LIGO/VIRGO/GEO/TAMA ، آغاز به دادن نتایج علمی کرده است و دوران اخترشناسی بر پایه موج گرانشی فرا

---

۱. گردآوری از سایت اینترنتی کنفرانس جی‌آر ۱۷ و سایت‌های پیوسته به آن.

رسیده است. این آشکارسازها در جستجوی نشانه‌ها و سیگنال‌های موج گرانشی ناشی از برخورد سیاهچاله‌ها، آمیزش‌های ستاره‌های نوترونی و دیگر رویدادهای اخترشناسی که پیشتر آشکارناپذیر بودند، می‌باشند. دانش اخترشناسی موج گرانشی، در بنیاد خود، دانشی نوین است که پنجره‌ای تازه به گیتی می‌گشاید. تاکنون اخترشناسی بر مشاهدات نشانه‌ها و سیگنال‌های الکترومغناطیسی (یعنی نور دیدنی، موج‌های رادیویی) استوار بوده است. آشکارسازی موج‌های گرانشی، دیدگاه یکسره نوینی بر جهان می‌گشاید: ما خواهیم توانست افزون بر دیدن، جهان را بشنویم! جی‌آر ۱۷ از نخستین فرصت‌هایی است که برای جامعه علمی فراهم شده است تا درباره نخستین دستاوردهای علمی این دوران به گفتگو بنشیند.

هاوکینگ در همایش

استیون هاوکینگ برآن شد تا راه‌حل خود را درباره پارادوکس گُم شدن اطلاعات در سیاهچاله‌ها، در همایش جی‌آر ۱۷ مطرح سازد. این دانشمند برای رسانه‌ها یک ابر ستاره است همچون آینشتین و مایکل جکسون. از این‌رو خبرنگاران با آگاهی از این رویداد، با هجوم خود هر چیز دیگر در کنفرانس را به حاشیه راندند. به گفته یکی از برگزارکنندگان همایش ۴۰۰۰ پوند به یکی از مؤسسات کارشناس روابط عمومی پرداخت شده بود تا انبوه خبرنگاران و دیگر کنجکاوانی که می‌خواستند هاوکینگ را ببینند، سر و سامان دهد.

در روز موعود، صندلی چرخدار هاوکینگ از گوشه سالن پدیدار

شد و در میان نور خیره‌کننده فلاش دوربین‌ها به آرامی به‌سوی جایگاه سخنرانی رفت. سازمانده همایش، پیتر فلورایدز (Peter Florides) در پشت بلندگو به شوخی گفت: «فیزیکدان‌ها برآن باورند که هیچ اطلاعاتی تندتر از نور حرکت نمی‌کند. به‌نظر می‌رسد این باور با توجه به سرعت پخش خبر سخنرانی هاوکینگ در سراسر جهان، نقض شده است.» آنگاه از شرطی که پرسکیل با هاوکینگ و ثورن بسته بود، یاد کرد.

سپس استیون هاوکینگ، با گفتن جمله آغازین همیشگی خود «صدای مرا می‌شنوید؟» به سخنرانی پرداخت.

فیزیکدان پر آوازه دانشگاه کمبریج در این مقاله نشان داد که سیاهچاله‌ها، یعنی گرداب‌های آسمانی که از ستارگان فرو پاشیده شکل می‌گیرند، رد و نشانه‌های چیزهایی که بلعیده‌اند، نگه داشته و سرانجام می‌توانند بخش‌هایی از آنها را بیرون بدهند، البته «به گونه‌ای تکه پاره».

هاوکینگ پیشتر پافشاری می‌کرد که سیاهچاله‌ها همه اطلاعات و رد پاهای آنچه را فراچنگ دارند، نابود می‌کنند و تنها یک شکل جنریک و عمومی تابش را گسیل می‌دارند. بر پایه محاسبات او که در نیمه دههٔ هفتاد ارائه گردید، سیاهچاله به محض تشکیل شدن، به تابش انرژی و از دست دادن جرم آغاز می‌کند. بر این پایه هرگاه چیزی درون سیاهچاله بیفتد، برای همیشه ناپدید می‌شود و تنها اطلاعی که از آن برجای ماند جرم و اسپین آن می‌باشد. «به این ترتیب اگر اطلاعات از میان برود، پیامدهای مهم عملی و فلسفی در بر خواهند داشت. ما هرگز نخواهیم توانست از گذشته اطمینان داشته باشیم یا آینده را با دقت پیش‌بینی کنیم. از این‌رو مردمان بسیاری می‌خواستند باور داشته باشند که اطلاعات می‌تواند از دام سیاهچاله بگریزد اما نمی‌دانستند چگونه.»

اکنون هاوکینگ می‌گوید که پاسخ پارادوکس اطلاعات را که خود واضع آن بود، یافته است.

او می‌کوشد با محاسبات تازه‌اش نشان دهد که افق رویداد که سطح سیاهچاله را تشکیل می‌دهد، دارای افت و خیزهای کوانتومی است. اینها همان عدم قطعیت‌های در موقعیت هستند که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ بیان می‌کند و در مرکز مکانیک کوانتومی می‌باشد. افت و خیزها رفته رفته می‌گذارند همه اطلاعات درون سیاهچاله به بیرون درز کند.

بازگشت نظری

هاوکینگ ۶۲ ساله گفت دیگر به یک نظریه سال‌های دهه ۸۰ که بر آن بود سیاهچاله‌ها ممکن است راهی به جهانی دیگر بگشایند، باور ندارد. این نظریه در پی شناسایی آن بود که ماده یا انرژی گرفتار در سیاهچاله به کجا می‌روند.

هاوکینگ هم‌اکنون در کنار فیزیکدانان ذره جای دارد که سال‌ها پافشاری می‌کردند که ماده بلعیده شده توسط سیاهچاله نمی‌تواند یکسره ناپدید شود بلکه سرانجام باید یک برونداد و خروجی مشخص ایجاد نماید. نظریه کنونی امید می‌دهد که دانشمندان روزی بتوانند با رمزگشایی از آنچه سیاهچاله گسیل می‌دارد تاریخ چیزهایی را که در طول هزاران سال فرو داده است، شناسایی نمایند.

هاوکینگ در سخنرانی خود برای کمابیش ۸۰۰ فیزیکدان و دانشمند از ۵۰ کشور جهان گفت: «آن‌گونه که پیشتر می‌اندیشیدیم، جهانچه‌ای که درون سیاهچاله، از آن منشعب شده باشد، وجود ندارد.

اطلاعات با استواری در جهان، برجای می‌ماند.» از ناامید کردن هواداران داستان‌های تخیلی علمی ناخرسندم، اما اگر اطلاعات برجای بمانند، به‌کار بستن سیاهچاله برای سفر به جهانهای دیگر ممکن نیست.» «اگر درون سیاهچاله‌ای بپرید، ماده و انرژی شما به جهان ما بازگردانده خواهد شد، البته به گونه‌ای تکه پاره که اطلاعاتی درباره ریخت و قیافه شما در بر دارد، اما در حالتی شناسایی‌ناپذیر.»

تردید و شگفتی

نظریه نوین هاوکینگ موجی از تردید و شگفتی در میان استادان برجسته فیزیک به راه انداخته است. ویلیام انرو (William Unruh) از دانشگاه بریتیش کلمبیا و روبرت والد (Robert Wald) از دانشگاه شیکاگو که در ردیف جلو نشسته بودند، به گفته‌های هاوکینگ گوش می‌دادند و با ناباوری سر تکان می‌دادند. والد که کارشناس سیاهچاله‌هاست گفت «هاوکینگ یکسره در باور پیشین خود که بر آن بود هرچه درون سیاهچاله برود از صفحه روزگار محو می‌شود، بازنگری کرده است. اینک او برآن است که می‌توان به سرچشمه و مبدأ هر تابشی که از سیاهچاله گسیل می‌شود، پی برد. او دارد از آنچه ما هنوز باور داریم، می‌گریزد.»

انرو گفت: «بخشی از مشکل اینجاست که او جزئیات اندکی به‌دست می‌دهد، پس نمی‌دانیم که می‌توانیم این محاسبات را باور کنیم یا نه. استیون هاوکینگ نادان نیست، پس ما گفته‌های او را جدی می‌گیریم... اما آنچه که می‌شنویم بی‌نهایت نظری، جلوه می‌کند.»

سرانجام شرط‌بندی

تا همین چندی پیش، هاوکینگ مطمئن بود که سیاهچاله‌ها هر آنچه فرو بدهند، نابود می‌سازند. در سال ۱۹۹۷، او و استاد فیزیک کلتک به‌نام کیپ ثورن، شرط پر سر و صدایی با یک فیزیکدان ذره به‌نام جان پرسکیل بستند که «اطلاعاتی که سیاهچاله فرو می‌دهد، حتی با بخار شدن و ناپدید شدن یکسره سیاهچاله، همواره از جهان بیرونی پنهان خواهد ماند و هرگز نمی‌توان آن را آشکار کرد.»

پرسکیل که استاد کلتک است، پافشاری می‌کرد که اطلاعات مصرف شده در سیاهچاله «باید در نظریه گرانش کوانتومی درست، پیدا شود و پیدا خواهد شد.»

هاوکینگ سخنرانی‌اش را با این گفته پایان بخشید که او ثابت کرد که حق با پرسکیل است. پرسکیل جایزه‌اش را که یک فرهنگ درباره ورزش بیس‌بال بود، دریافت کرد.

پرسکیل گفت از اینکه شرط را در برابر این همه گواه برده است، شادمان است اما غمگین هم هست. او با خنده افزود «در همه این سال‌های دراز، بحث و گفتگو در این باره، سرگرمی خوبی بوده است، اما اینک درباره چه چیزی بحث کنیم؟»

پرسکیل گفت که چشم به راه مقاله مشروح هاوکینگ در این باره که ماه دیگر منتشر می‌شود، می‌ماند. او افزود «راستش را بگویم، از سخنان او سر در نیاوردم.»

پس از پایان سخنرانی، خبرنگار بی‌بی‌سی از هاوکینگ پرسید که اهمیت نتیجه‌گیری تازه وی برای «زندگی، جهان و همه چیز» چیست؟

هاوکینگ پذیرفت که به این پرسش پاسخ دهد و پس از مدتی ور رفتن با برنامه رایانه‌ایش پاسخ داد: «این نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که همه چیز در جهان زیر فرمان قوانین فیزیک می‌باشد.»

شرط‌بندی

از آنجا که استیون هاوکینگ و کیپ ثورن با استواری برآن باورند که اطلاعاتی که سیاهچاله فرو می‌خورد، برای همیشه از جهان بیرونی پوشیده می‌ماند و حتی در صورت بخار شدن و ناپدید شدن یکسره سیاهچاله، هرگز آشکار نمی‌شود، و از آنجا که جان پرسکیل با استواری بر آن است که در یک نظریه گرانش کوانتومیِ درست باید ساز و کاری برای آشکار ساختن اطلاعات یافت شود و یافت هم خواهد شد. پس پرسکیل شرط‌بندی زیر را پیشنهاد می‌کند و هاوکینگ و ثورن می‌پذیرند که:

هنگامی که یک حالت کوانتومی ناب اولیه، دچار فروپاشی گرانشی می‌شود تا سیاهچاله‌ای بسازد، حالت فرجامین در پایان تبخیر سیاهچاله همواره حالتی کوانتومی خواهد بود.

بازنده (گان) به برنده (گان) فرهنگی به انتخاب برنده پاداش خواهد (خواهند) داد تا اطلاعات را به دلخواه بازیابی کند.

استیون و هاوکینگ، کیپ س. ثورن، جان پ. پرسکیل
پاسادنا، کالیفرنیا، ۶ فوریه ۱۹۹۷.

بخش‌هایی از گفتگوی تلویزیونی لاری کینگ، برنامه‌ساز پرآوازه شبکه سی ان ان با پروفسور هاوکینگ در دسامبر ۱۹۹۹ که نکته‌های جالبی درباره زندگی و دیدگاه‌های وی دربر داشت، ترجمه و به پایان کتاب افزوده شد.

لاری کینگ: امشب به سراغ مردی باهوش شگفت‌آور و نیرویی باور نکردنی می‌رویم. گفته می‌شود او می‌تواند فیزیک را بهتر از کالایی که مدونا به فروش می‌رساند، بفروشد. ما به خود می‌بالیم از آنکه امشب میزبان پروفسور استیون هاوکینگ هستیم...

لاری کینگ: بزرگترین دستاورد شما چه بوده است؟

هاوکینگ: شادمانم از اینکه دانشمان را از انفجار بزرگ و سیاهچاله‌ها، از آغاز و انجام زمان گسترش داده‌ام. کمابیش گفته‌ام که بر سیاهچاله‌ها نور تابانده‌ام، اما شاید این کنایه درستی نباشد.

لاری کینگ: آیا از کودکی دانشی خداداد داشتید یا آن را آموختید؟ آیا بچه باهوشی بودید؟

هاوکینگ: همه کودکان پرسش‌هایی می‌کنند. چیزها چگونه کار می‌کنند و چرا چنین هستند؟ اما همچنانکه بزرگتر می‌شوند، به آنها می‌گویند این

پرسش‌ها احمقانه است یا اینکه پاسخی ندارند. من کودکی هستم که هرگز بزرگ نشدم و همچنان می‌پرسم چگونه و چرا. گاهی هم پاسخی پیدا می‌کنم.

لاری کینگ: آیا خود را آموزگار، پژوهشگر، دانشمند یا همه این چیزها می‌دانید؟

هاوکینگ: من خود را یک دانشمند پژوهشگر می‌دانم. به دانشجویان کارشناسی آموزش نمی‌دهم، اما استاد راهنمای کمابیش سی دانشجوی دکترا بوده‌ام و در پاره‌ای موارد بیش و کم پایان‌نامه را من برایشان نوشتم.

لاری کینگ: آیا رایزن و مربی داشته‌اید؟

هاوکینگ: چند استاد خوب داشته‌ام و چند تا هم نه چندان خوب. اما هیچ یک رایزن و مربی من نبوده‌اند. نزدیکترینشان راجر پنروز است که کارش، انفجار بزرگ و سیاهچاله‌ها را به من شناساند. اما او بیشتر همکار و یاورم بود تا رایزن و مربی.

لاری کینگ: چرا این رشته را برگزیدید؟

هاوکینگ: من در دامان پدری بزرگ شدم که دانشمند پژوهشگر در زمینه پزشکی سرزمین‌های گرم بود و من می‌پنداشتم که طبیعتاً باید یک دانشمند پژوهشگر شوم. اما زیست‌شناسی را بسیار ناروشن و توصیفی می‌دیدم پس به سراغ فیزیک رفتم، بررسی قانون‌هایی که بر گیتی فرمان می‌رانند، زیرا بنیادی‌ترین دانش‌ها بود. پدرم از اینکه پزشک نشدم سر خورده شد، اما هنگامی که خواهرم پزشک شد آرامش یافت.

لاری کینگ: شما از اینکه باهوش‌ترین کس روی زمین خوانده می‌شوید چه احساسی دارید؟ با آن موافقید؟

هاوکینگ: اینها تبلیغات رسانه‌ای است. روزنامه‌ها از این فهرست‌های خنده‌آور بزرگترین مردان فلان و بهمان سرهم می‌کنند. تازگی‌ها من دومین هوشمند بریتانیا نام گرفتم و نخستین کس ریچارد برنسون (دارنده یک شرکت هواپیمایی) بود...

لاری کینگ: ای ال اس بیماری کشنده‌ای است که لوگریک قهرمان افسانه‌ای بیس‌بال را از پا درآورد و درمانی ندارد. پروفسور هاوکینگ به این بیماری دچار است.

هاوکینگ: من به ای ال اس دچار هستم. در این بیماری اعصاب حرکتی می‌میرند، اما اعصاب حسی برجای می‌مانند. گفته می‌شود بر هوشیاری اثری ندارد، اما شاید این بیماری در من چنان پیشرفت کرده که اثر آن را درک نمی‌کنم. یک شکل این بیماری با ژن‌های معیوب پیوند دارد، ولی تصادفی پدیدار می‌شود و علت آن دانسته نیست.

لاری کینگ: تأثیر بیماری بر کار شما چیست؟

هاوکینگ: اگر هر پیشه دیگری به‌جز این داشتم، این بیماری کارش را می‌ساخت. اما فیزیک نظری همه‌اش در ذهن است پس من توانستم کارم را دنبال کنم. روشن است دشواری‌های عملی هست مانند خواندن کتاب‌ها و مقاله‌ها ولی راه‌هایی برای برون‌رفت از این دشواری‌ها پیدا کرده‌ام. اینک که همه چیز در رایانه است کارها خیلی آسان‌تر شده است. مقالات فیزیک را از اینترنت پیاده می‌کنم و به مقالات کاغذی نیاز ندارم.

لاری کینگ: آیا بیماری به گونه‌ای به شما کمک نکرده است؟

هاوکینگ: نمی‌شود گفت معلولیت و ناتوانی به کارم کمک کرده است، اما به من امکان داده که بدون اینکه ناچار باشم درس بدهم یا در کمیته‌های خسته‌کننده حاضر شوم، روی پژوهش متمرکز شوم...

لاری کینگ: چه چاره‌ای اندیشیده‌اید برای روزی که به ناگزیر از برقراری ارتباط با دیگران باز خواهید ماند؟

هاوکینگ: همه ما روزی به ناگزیر با مرگ روبه‌رو خواهیم شد. تا روزی که زنده‌ام بی‌گمان یک جوری ارتباط برقرار می‌کنم.

لاری کینگ: هنگامی که هاوکینگ می‌گوید ارتباط برقرار خواهد کرد باید باور کنید. در سال ۱۹۸۵ ذات‌الریه بیش و کم او را خفه کرد. پزشکان

گلویش را سوراخ کردند و لوله‌ای در نایش گذاشتند تا بتواند نفس بکشد. او زندگی را بازیافت، اما صدایش را از دست داد. اما همان‌گونه که شنیدید، او باز هم سخن می‌گوید.

هاوکینگ: چندی تنها با ابروانم ارتباط برقرار می‌کردم... خوشبختانه دستانم توانایی فشار دادن و رها کردن سریع یک تک کلید را دارد. این گونه، با حرکت یک کرسر، یک برنامه رایانه‌ای را کنترل می‌کنم و واژه‌ها را از فهرستی روی نمایشگر برمی‌گزینم. واژه‌های برگزیده در پایین نمایشگر گرد می‌آیند و آنگاه که چیزی را که می‌خواهم بگویم آماده شد، آن را به یک پردازشگر صدا می‌فرستم... با این برنامه رایانه‌ای من ده تا پانزده واژه در دقیقه فراهم می‌کنم. سخن گفتن عادی ۱۲۰ تا ۱۸۰ واژه در دقیقه است... به زبان کاربران رایانه، باد ریت (baud rate) من ۳ است که می‌شود ۲۰ واژه در دقیقه. در مقایسه، باد ریت یک سیاستمدار ۱۵۰ و محتوای اطلاعاتیش صفر است...

بی‌گمان بزرگترین چهره علمی این سده آلبرت آینشتین است. او اندیشه‌های ما درباره زمان و فضا را دگرگون ساخت. فضا و زمان دیگر تنها زمینه‌ای که در آن رویدادها رخ دهند نبود، بلکه با ماده و انرژی جهان، دچار خمیدگی می‌شوند. ما هنوز داریم روی پیامدهای نسبیت عام کار می‌کنیم. پس از آینشتین، ورنر هایزنبرگ، ایروین شرودینگر و پل دیراک می‌باشند که نظریه کوانتومی را برپا کردند که تصویر واقعیت را برای ما دگرگون ساخت. روزی که دریابیم چگونه این دو نظریه را به‌هم بیامیزیم، خواهیم دانست که جهان چگونه آغاز شد، چگونه تکامل می‌یابد و چگونه پایان خواهد یافت.

لاری کینگ: آیا هرگز خواستید چیزی به‌جز یک دانشمند پژوهشگر بشوید؟...

هاوکینگ: پیش از آنکه بیمار شوم، شغل‌های دیگری را در نظر داشتم که در آن میان رهبر سیاسی شدن هم بود. چون در آمریکا زاده نشده‌ام، نمی‌توانستم رئیس جمهور شوم ولی می‌شد نخست‌وزیر بریتانیا بشوم. اما

شادمانم از اینکه این شغل را برای تونی بلر گذاشتم. به گمانم بیش از او از کارم خشنودم و تأثیر کارم دیرپاتر خواهد بود...

لاری کینگ: شما پیشتر گفته بودید که نظریه ریسمانی بخت ۵۰ ـ ۵۰ دارد که تا پایان سده بیستم ثابت شود. چه شد؟

هاوکینگ: در سال ۱۹۸۰ گفتم که به گمانم بخت ۵۰ ـ ۵۰ هست که بتوانیم در بیست سال آینده یک نظریه یکپارچه کامل پیدا کنیم. نظریه ریسمانی یک وجه از این نظریه یکپارچه است. اگرچه از آن زمان تاکنون پیشرفت‌های زیادی کرده‌ایم، هنوز به یک نظریه یکپارچه دست نیافته‌ایم. با این همه من هنوز گمان می‌کنم که بخت ۵۰ ـ ۵۰ هست که بتوانیم در بیست سال آینده یک نظریه یکپارچه کامل پیدا کنیم. اما آن بیست سال از همین حالا شروع می‌شود...

لاری کینگ: به یک جوان باهوش و با اندیشه باز که می‌خواهد زندگیش را آغاز کند، چه رایزنی می‌کنید؟ آیا دانش و پژوهش را به او توصیه می‌کنید؟ اگر می‌بایستی دوباره همه چیز را از نو آغاز می‌کردید، آیا همان چیزی را که برگزیده‌اید برمی‌گزیدید؟

هاوکینگ: به گمان من دانش و پژوهش از پول درآوردن خشنودکننده‌تر است. اما اگر می‌بایست اکنون شروع می‌کردم، شاید به جای کیهان‌شناسی، زیست‌شناسی ملکولی را برمی‌گزیدم. شاید قانون‌های بنیادینی را که بر جهان فرمان می‌رانند پیدا کنیم، اما پیچیدگی سامانه‌های زیست‌شناسی ممکن، هرگز پایان نمی‌یابد.

لاری کینگ: برجسته‌ترین کشفیات هزاره دوم کدام است؟

هاوکینگ: به گمانم اختراع چاپ نقطه عطفی در زندگی نژاد بشر بود. یعنی اطلاعات و کشفیات به گستردگی میان مردمان پخش می‌شد و دیگر دهان به دهان یا به کمک دستنوشته‌ها منتشر نمی‌شد. هم‌اکنون اینترنت جای چاپ را گرفته است.

لاری کینگ: بزرگترین چالش در پیش رو که باید بر آن پیروز شویم کدام است؟

هاوکینگ: به گمان من بزرگترین چالشی که با آن روبه‌رو هستیم از غریزه‌های تجاوزطلب و خوی دراز دستی بشر برمی‌خیزد. در روزگار غارنشینی، اینها برتری‌هایی به ما دادند که انگیزه بقا و ماندگاری‌مان شد و با انتخاب طبیعی داروینی، در ژن‌های ما رمزگذاری گردید. اما با جنگ‌افزارهای هسته‌ای، این غریزه‌ها و خوی درازدستی ما را به نابودی تهدید می‌کند. ما فرصت زیادی نداریم که به امید آن بنشینیم که تکامل داروینی این خو را از ما بستاند. ما باید از مهندسی ژنتیک بهره گیریم....

لاری کینگ: چه چیزی به شما نیروی پیشروی می‌بخشد؟ همه ما از شرایط دشوار زندگی شما آگاهیم و می‌بینیم که چه خوب با آن کنار آمده‌اید. چه چیزی در درونتان می‌جوشد و شما را به ادامه راهتان وادار می‌کند؟

هاوکینگ: کنجکاوی. من می‌خواهم پاسخ‌ها را بدانم. من از زندگی لذت می‌برم. تا آنجا که بتوانم راهم را دنبال خواهم کرد. آیا کار دیگری می‌شود کرد؟

لاری کینگ: و سرانجام، هرآینه شادی نسبی است، آیا شما شادید؟

هاوکینگ: آری.

لاری کینگ: پروفسور، سپاسگزارم.

واژه‌نامه

ابرگرانش Supergravity

مجموعه‌ای از نظریه‌ها که نسبیت عام و ابر تقارن را یکپارچه می‌سازد.

ابرتقارن Supersymmetry

اصلی که ویژگیهای ذرات با اسپین مختلف را پیوند می‌دهد.

اتر Ether

واسطه غیر مادی فرضی که زمانی می‌پنداشتند همه فضا را پر کرده است. این اندیشه که چنین واسطه‌ای برای انتشار پرتوالکترومغناطیس ضروری است، دیگر پذیرفتنی نیست.

اتم Atom

واحد بنیادین ماده معمولی، که از هسته کوچکی (پروتون‌ها و نوترون‌ها) تشکیل شده است و الکترون‌ها پیرامونش می‌چرخند.

اثر دوپلر Doppler effect

تغییر فرکانس و طول موج امواج صدا یا نور که ناظری دریافت می‌کند و این تغییر از

حرکت چشمه موج نسبت به ناظر ناشی شده باشد.

اثر فتوالکتریک Photoelectric effect

روشی که برخی فلزها زیر تابش نور، از خود الکترون بیرون می‌دهند.

اثر کازیمیر Casimir effect

فشار کششی میان دو صفحه فلزی تخت موازی که در خلأ و بسیار نزدیک به هم قرار گرفته‌اند. فشار، ناشی از کاهش شمار عادی ذرات مجازی در فضای میان دو صفحه است.

اسپین Spin

ویژگی درونی ذرات بنیادین، که به فرایافتِ روزانهٔ چرخش در پیوند است ولی با آن یکسان نیست.

اصل انحصار Exclusion principle

اندیشه آنکه دو ذره با اسپین $\frac{1}{2}$ (در محدوده اصل عدم قطعیت) نمی‌توانند هر دو موقعیت یکسان و سرعت یکسان داشته باشند.

اصل انسانی Anthropic principle

اندیشه آنکه ما جهان را چنین که هست می‌بینیم، زیرا اگر متفاوت بود، دیگر ما وجود نداشتیم تا آن را ببینیم.

اصل عدم قطعیت Uncertainty principle

اصلی که هایزنبرگ فرمول‌بندی کرد و می‌گوید که نمی‌توان موقعیت یا سرعت ذره‌ای را با اطمینان تعیین کرد. هرچه یکی از آن دو را با دقت بیشتری بدانیم، دیگری را با دقت کمتری خواهیم دانست.

اصل کوانتومی پلانک Planck's quantum principle

امواج الکترومغناطیس (برای نمونه نور) تنها در پیمانه‌های گسسته گسیل یا جذب می‌شوند.

اعداد گراسمان Grassman numbers

دسته‌ای از اعداد جابه‌جای‌ناپذیر. در اعداد حقیقی معمولی، ترتیب اعداد در عمل ضرب مهم نیست: $A\times B=C$ و $B\times A=C$. اما اعداد گراسمن پاد جابه‌جایی پذیرند، پس $A\times B$ برابر است با $B\times A$ ـ.

افق رویداد Event horizon

لبه سیاهچاله، مرز ناحیه‌ای که از آن یارای گریز به بی‌نهایت نباشد.

الکترون Electron

ذره‌ای با بار منفی که پیرامون هسته اتم می‌گردد.

انتروپی Entropy

اندازه نابسامانی سیستم فیزیکی؛ شمار پیکربندیهای میکروسکوپی مختلف سامانه که نمای ماکروسکوپیش را دگرگون نسازد.

انرژی خلأ Vacuum energy

انرژی‌ای که حتی در یک فضای به ظاهر تهی، وجود دارد. انرژی خلأ این ویژگی شگفت را دارد که حضور آن برخلاف حضور ماده، موجب شتاب گرفتن گسترش جهان می‌شود.

انفجار بزرگ Big bang

تکینگی در آغاز جهان، کمابیش پانزده میلیارد سال پیش.

انقباض لورنتسی Lorentz contraction

کوتاه شدن چیزهای متحرک در طول جهت حرکتشان، آن گونه که نسبیت خاص پیش‌بینی می‌کند.

بار الکتریکی Electric charge

ویژگی یک ذره که با آن، ذرات دیگر دارای بار الکتریکی هم علامت (یا متضاد) رانده (یا جذب) می‌شوند.

بعد درهم پیچیده Curled up dimension

بُعد یا سویگانِ فضایی که در هم پیچیده و چنان کوچک است که آشکار نمی‌شود.

بعد فضایی Spatial dimension

هر یک از ابعاد سه‌گانه فضازمان که فضاوار هستند.

بقای انرژی Conservation of energy

قانون علم که می‌گوید انرژی (یا جرم هم ارز آن) نه به‌وجود می‌آید و نه از میان می‌رود.

بوزون Boson

ذره یا مدلی از ارتعاش ریسمانی که اسپین آن عدد صحیح باشد.

بی‌نهایت و ناکرانمندی Infinity

گستره یا عددی که بی‌کران و بی‌پایان است.

پادذره Antiparticle

هر گونه ذره مادی، پادذره متناظر خواهد داشت. هرگاه ذره با پادذره‌اش برخورد کند، نابود می‌شوند و تنها انرژی برجای می‌ماند.

پرتوزایی Radioactivity

شکست خودبه‌خودی گونه‌ای از هسته اتمی و تبدیل به گونه دیگر.

پروتون Proton

ذره دارای بار مثبت بسیار همانند نوترون که کمابیش نیمی از جرم هسته را تشکیل می‌دهد و از سه کوراک (۲ بالا و یک پایین) ساخته شده است.

پوزیترون Positron

پادذره الکترون که دارای بار مثبت است.

پوسته Brane

چیزی که به نظر می‌رسد جزء بنیادین نظریه اِم است و می‌تواند ابعاد فضایی

گوناگونی داشته باشد. به‌طور کلی، p-brane در p جهت طول دارد، 1-brane ریسمان است، 2-brane رویه یا پوسته است و همانند آن.

P-brane

پوسته‌ای (brane) ، با p بعد. «پوسته» را نیز ببینید.

تابش Radiation

انرژی‌ای که از میان فضا یا رسانه‌ای دیگر با امواج یا ذرات فرستاده می‌شود.

تابش زمینه ریز موج Microwave background radiation

تابش جهان آغازین داغ، اکنون چنان به‌سوی سرخ جابه‌جا شده است که دیگر نه چون نور، بلکه به‌صورت ریز موجها (موجهای رادیویی با طول موجی برابر با چند سانتیمتر) پدیدار می‌گردد.

تابع موج Wave function

مفهومی بنیادین در مکانیک کوانتومی؛ عددی در هر نقطه از فضا، که متناظر با ذره است، و احتمال آن که ذره در آن موقعیت یافت شود، را نشان می‌دهد.

ترمودینامیک Thermodynamics

بررسی پیوندهای میان انرژی، کار، گرما، و آنتروپی در سامانه فیزیکی پویا.

تکینگی Singularity

نقطه‌ای در فضازمان که در آن خمیدگی فضازمان بی‌نهایت و ناکرانمند می‌شود.

تکینگی برهنه Naked singularity

تکینگی فضازمان که گرداگردش سیاهچاله‌ای نیست و ناظر دوردست می‌تواند آن را ببیند

تورم Inflation

مدت زمان کوتاهی که در آن جهان آغازین، گسترش شتابناکی یافت و اندازه‌اش با ضریب بزرگی افزایش یافت.

ثابت پلانک Planck's constant

سنگ بنای اصل عدم قطعیت ــ حاصلضرب عدم قطعیت در موقعیت و سرعت باید بزرگتر از ثابت پلانک باشد. نماد ثابت پلانک h است.

ثابت کیهانی Cosmological constant

ابزار ریاضی که آنیشتین به کار برد تا گرایشی درونی به گسترش به جهان بدهد، و اجازه دهد نسبیت عام جهانی ایستا را پیش‌بینی کند.

ثانیه نوری Light second

فاصله‌ای که نور در یک ثانیه می‌پیماید.

جابه‌جایی به آبی Blue shift

کوچک شدن طول موج تابشی که چیزی که به سوی ناظر حرکت می‌کند، گسیل کرده است و ناشی از اثر دوپلر می‌باشد.

جابه‌جایی به قرمز Red shift

سرخ شدن تابش از جسم متحرکی که از ناظر دور می‌شود. جابه‌جایی به قرمز ناشی از اثر دوپلر است.

جبرگرایی علمی Scientific determinism

تصور ساعت گونه از جهان که لاپلاس پیشنهاد کرد و بر آن است که دانایی کامل از حالت جهان ما را توانا می‌سازد حالت کامل آن را در گذشته یا آینده پیشگویی کنیم.

جرم Mass

کمیت و چندی ماده در جسم، اینرسی یا مقاومت آن در برابر شتاب در فضای آزاد.

جهان پوسته‌ای Brane world

رویه یا پوسته چهار بعدی در فضا زمانی با ابعاد بیشتر.

حالت ایستا Stationary state

حالتی که در زمان تغییر نمی‌کند.

حالت پایه یا تراز پایه Ground state

حالت سامانه با انرژی کمینه.

حلقه زمانی Time loop

نامی دیگر برای یک خم زمان‌وار بسته.

خورشیدگرفتگی Solar eclipse

دوره زمانی که در آن ماه از میان زمین و خورشید می‌گذرد و معمولاً روی زمین چند دقیقه طول می‌کشد. در سال ۱۹۱۹ خورشیدگرفتگی‌ای که از باختر آفریقا رصد شد، نسبیت خاص را فراتر از هر تردیدی به اثبات رساند.

دامنه Amplitnde

بلندی بیشینه قله موج یا ژرفای بیشینه دره موج.

دوگانگی Duality

تناظر میان نظریه‌هایی که گویا ناهمسانند لیک به نتایج فیزیکی یکسانی می‌انجامند.

دوگانگی موج / ذره Weve/particle duality

مفهومی در مکانیک کوانتومی که بر آن است که تمایز و جدایی میان موجها و ذرات نیست، ذرات ممکن است مانند موجها رفتار کنند و برعکس.

دی. ان. ای. DNA

اسید دی‌اکسی ریبونوکلک از فسفات، شکر و چهار پایه: آدنین، گوانین، تی‌مین، و سیتوزین درست شده است. دو رشته DNA سازه مارپیچی دوگانه‌ای مانند پلکان مارپیچی می‌سازند. DNA همه اطلاعاتی که سلولها نیاز دارند تا باز تولید کنند، رمزگزاری می‌کند و نقش بسیار مهمی در وراثت دارد.

ذره مجازی Virtual particle

در مکانیک کوانتومی، ذره‌ای است که هرگز به‌طور مستقیم آشکار نمی‌شود، اما حضورش تأثیرات قابل اندازه‌گیری دارد. اثر کازیمیر را ببینید.

ذره بنیادین Elementary Particle

ذره‌ای که بخش‌ناپذیر انگاشته می‌شود.

رویداد Event

نقطه‌ای در فضازمان که با مکان و زمانش مشخص شود.

رویکرد اثبات‌گرایانه Positivist approach

اندیشه‌ای که می‌گوید نظریه علمی مدلی ریاضی است که مشاهدات ما را توصیف و رمزگذاری می‌کند.

ریسمان String

چیزی بنیادین و تک بعدی در نظریه ریسمانی که جایگزین مفهوم بی‌سازه ذرات بنیادین می‌شود. مدلهای لرزش و ارتعاش مختلف یک ریسمان، ذرات بنیادین با ویژگیهای مختلف به‌وجود می‌آورد.

ریسمان بسته Closed string

گونه‌ای ریسمان به شکل حلقه

ریسمان کیهانی Cosmic string

چیز سنگین و درازی که سطح مقطع کوچکی دارد و شاید در مراحل آغازین جهان تولید شده است. اینک یک تک ریسمان می‌تواند در سراسر گیتی گسترش یافته باشد.

زمان پلانک Planck time

نزدیک به $۱۰^{-۴۳}$ ثانیه؛ زمانی که نور فاصله پلانک را بپیماید.

زمان مطلق Absolute time

اندیشه آنکه ساعت جهانی می‌تواند باشد. نظریه نسبیت آنیشتین نشان داد که

چنین مفهومی نمی‌تواند وجود داشته باشد.

زمان موهومی Imaginary time

اندازه‌گیری زمان با اعداد موهومی.

سال نوری Light year

فاصله‌ای که نور در یک سال می‌پیماید.

سرعت Velocity

عددی که تندی و جهت حرکت چیزی را توصیف می‌نماید.

سوراخ کرم Wormhole

لوله نازک فضازمان که ناحیه‌های دوردست جهان را به یکدیگر پیوند می‌دهد. سوراخهای کرم شاید جهانهای موازی یا جهانچه‌ها را نیز به هم بپیوندد و سفر در زمان را ممکن سازد.

سیاهچاله Black hole

ناحیه‌ای از فضازمان که از آن هیچ چیز حتی نور یارای گریز ندارد زیرا گرانش بسیار نیرومند است.

سیاهچاله بدوی Primordial black hole

سیاهچاله‌ای که در جهان آغازین به‌وجود آمد.

شتاب Acceleration

دگرگونی و تغییر در سرعت یا راستا و جهت یک چیز (سرعت را نیز ببینید).

شتابدهنده ذره Particle accelerator

ماشینی که می‌تواند ذرات باردار را شتاب دهد و بر انرژیشان بیفزاید.

شرایط اولیه و آغازین Initial conditions

حالت سامانه فیزیکی در آغاز.

شرایط مرزی Boundary conditions

حالت نخستین سامانه فیزیکی، یا کلیتر، حالت سامانه در مرزی در زمان یا در فضا.

شرط بی‌مرزی No boundary condition

اندیشه‌ای که جهان را محدود اما در زمان موهومی بی‌کرانه و بی‌مرز می‌انگارد.

شکافت هسته‌ای Nuclear fission

فرایند شکستن اتم به دو یا چند هسته کوچکتر و آزادسازی انرژی.

صفر مطلق Absolute zero

کمترین دمای ممکن که در آن چیزها هیچ انرژی گرمایی ندارند؛ حدود ۲۷۳ ــ درجه سانتیگراد یا صفر در مقیاس کلوین.

طولانی شدن زمان Time dilation

ویژگی نسبیت خاص که پیش‌بینی می‌کند برای ناظری که حرکت می‌کند یا در یک میدان گرانشی نیرومند است، جریان زمان کند خواهد شد.

طول پلانک Planck length

حدود 10^{-35} سانتیمتر. اندازه ریسمان معمولی در نظریه ریسمانی.

طول موج Wavelength

فاصله میان دو قله یا دو دره پی‌درپی یک موج.

طیف Spectrum

فرکانسهایی که موج را می‌سازند. بخش دیدنی طیف خورشید را گاه می‌توان همچون رنگین‌کمان دید.

عدد موهومی Imaginary number

ساختمان ریاضی مجرد. اعداد حقیقی و موهومی را می‌توان به‌عنوان مختصات نقاط در صفحه پنداشت به گونه‌ای که اعداد موهومی عمود بر اعداد حقیقی معمولی باشند.

فرکانس، بسامد Frequency

برای موج، شمار دوره‌های کامل در یک ثانیه.

فروپاشی بزرگ Big crunch

نامی که به سناریوی ممکن برای پایان جهان داده‌اند و در آن همه فضا و ماده فرو می‌پاشند تا تکینگی‌ای شکل گیرد.

فضازمان Spacetime

فضای چهار بعدی که نقاط آن رویدادها هستند.

فضای آزاد Free space

بخشی از فضای خلأ که یکسره از میدانها تهی باشد، یعنی هیچ نیرویی در آن عمل نکند.

فرمیون Fermion

ذره یا مدلی از لرزش ریسمانی که اسپین آن نیمِ یک عدد صحیح باشد.

فوتون Photon

کوانتوم نور، کوچکترین بسته میدان الکترومغناطیسی.

قانون دوم ترمودینامیک Second law of thermodynamics

قانونی که می‌گوید انتروپی همواره افزایش می‌یابد و هرگز کاهش نمی‌یابد.

قانون مور Moore's law

قانونی که می‌گوید توان رایانه‌ها هر هجده ماه دو برابر می‌شود. به روشنی می‌توان گفت که این روند تا بی‌نهایت ادامه نخواهد یافت.

قانونهای حرکت نیوتن Newton's laws of motion

قانونهایی که حرکت اجسام را بر پایه مفهومهای فضا و زمان مطلق، توضیح می‌دهد. این قانونها تا کشف نسبیت خاص آنیشتین، فرمانروای عرصه علم بودند.

قضیه تکینگی Singularity theorem

قضیه‌ای که نشان می‌دهد در شرایط معینی، تکینگی یعنی نقطه‌ای که نسبیت عام در هم می‌شکند، باید وجود داشته باشد. به‌ویژه نشان می‌دهد که جهان باید با

تکینگی آغاز شده باشد.

کلوین Kelvin

سنجه و مقیاس دمایی که در آن دماها نسبت به صفر مطلق نشان داده می‌شوند.

کوارک Quark

ذره بنیادین بارداری که نیروی قوی بر آن عمل می‌کند. کوارکها شش گونه‌اند: بالا و پایین و شگفت و شیفته و ته و نوک، و هر یک به سه «رنگند»: قرمز و سبز و آبی.

کوانتوم Quantum

واحد بخش‌ناپذیر گسیل یا جذب امواج.

کیهان‌شناسی Cosmology

مطالعه جهان چونان یک کل.

گرانش کوانتومی Quantum gravity

نظریه‌ای که مکانیک کوانتومی را با نسبیت عام درمی‌آمیزد.

گمان حفاظت گاهشماری Chronology protection conjecture

اندیشه آنکه قوانین فیزیک برای جلوگیری از سفر چیزهای ماکروسکوپی در زمان، توطئه می‌چینند.

ماده تاریک Dark matter

ماده‌ای که در کهکشانها و ابر کهکشانها و احتمالاً میان ابرکهکشانهاست و نمی‌توان آن را مستقیماً مشاهده کرد، اما می‌توان آن را با میدان گرانشیش آشکار ساخت. نود درصد ماده جهان، ماده تاریک است.

ماکروسکوپیک Macroscopic

آن اندازه بزرگ که با چشم نامسلح بتوان دید، معمولاً برای مقیاسهای تا ۰/۰۱ میلیمتر به کار می‌رود. مقیاسهای کمتر از آن را میکروسکوپیک می‌نامند.

مخروط نوری Light cone

سطحی از فضازمان که جهت ممکن پرتوهای نور را که از رویداد مفروضی

می‌گذرند، مشخص می‌سازد.

مدل استاندارد کیهان‌شناسی Standard model of cosmology

نظریه انفجار بزرگ به همراه درک مدل استاندارد فیزیک ذره.

مدل تداخل Interference pattern

مدل موجی که از به هم پیوستن دو یا چند موج که از جاهای مختلف و در زمانهای مختلف گسیل شده‌اند، پدید می‌آید.

مدل رندال ـ ساندرام Randall-Sundrum model

نظریه‌ای که می‌گوید ما بر روی پوسته‌ای در فضای پنج بعدی بیکران زندگی می‌کنیم که خمیدگی آن منفی است، مانند زین اسب.

معادله شرودینگر Schrödinger equation

معادله‌ای که بر تکامل تابع موج در نظریه کوانتومی، فرمان می‌راند.

مکانیک کوانتومی Quantum mechanics

قوانین فیزیکی که بر قلمرو چیزهای بسیار خرد فرمان می‌راند، مانند اتمها، زیر اتمها، پروتون‌ها و مانند آن؛ این قوانین از اصل کوانتومی پلانک و اصل عدم قطعیت هایزنبرگ گسترش یافته‌اند.

موج الکترومغناطیسی Electromagnetic wave

آشفتگی موج‌مانند در یک میدان الکتریکی. همه امواج طیف الکترومغناطیسی مانند نور دیدنی، پرتوهای ایکس، ریزموجها، تابش فروسرخ و مانند آن، با سرعت نور حرکت می‌کنند.

موج گرانشی Gravitational wave

آشفتگی موج‌مانند در میدان گرانشی

میدان Field

چیزی که در سرتاسر فضازمان هست، در برابر ذره که در هر زمان تنها در یک نقطه وجود دارد.

میدان گرانشی Gravitational froce

وسیله‌ای که با آن گرانش تأثیر خود را می‌رساند.

میدان ماکسول Maxwell fiele

آمیختن الکتریسیته، مغناطیس، و نور در میدانهای پویا که در فضا نوسان و حرکت می‌کنند.

میدان مغناطیسی Magnetic field

میدانی که نیروهای مغناطیسی را می‌سازد.

میدان نیرو Force field

وسیله‌ای که با آن نیرو تأثیر و نفوذش را می‌رساند.

ناظر Observer

یک تن یا یک دستگاه که ویژگیهای فیزیکی یک سامانه را اندازه‌گیری می‌کند.

نسبیت خاص Special relativity

نظریه آینشتین که بر پایه این اندیشه است که قوانین علم برای همه ناظران، صرف‌نظر از چگونگی حرکتشان و در نبود میدانهای گرانشی، یکسان است.

نسبیت عام General relativity

نظریه آینشتین بر پایه این اندیشه بنیاد شده است که قوانین علم برای همه ناظران، صرف‌نظر از اینکه چگونه حرکت می‌کنند، یکسان است. این نظریه نیروی گرانش را برحسب خمیدگیهای فضازمان چهاربعدی توضیح می‌دهد.

نظریه اِم M-Theory

نظریه‌ای که همه پنج نظریه ریسمانی و نیز ابرگرانش را در یک چهارچوب نظری یگانه یکپارچه می‌سازد و هنوز کاملاً فهمیده نشده است.

نظریه ریسمانی String theory

یک نظریه فیزیک که در آن ذرات به‌عنوان موجهایی روی ریسمانها توصیف

می‌شوند. این نظریه، مکانیک کوانتومی و نسبیت عام را یکپارچه می‌سازد. نظریه ابرریسمانی نیز خوانده می‌شود.

نظریه کلاسیک Classical theory

نظریه‌ای که بر پایه مفهومهایی بنیاد گرفته است که پیش از نسبیت و مکانیک کوانتومی به‌وجود آمده‌اند و فرض می‌کند که چیزها، موقعیتها و سرعتهای خوش تعریف دارند. همان‌گونه که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ نشان می‌دهد، این امر در مقیاسهای بسیار خرد درست نیست.

نظریه عمومی گرانش نیوتن Newton's universal theory of gravity

نظریه‌ای که نیروی کشش میان دو جسم را وابسته به جرم و فاصله آنها می‌داند. این نیرو متناسب است با حاصلضرب جرمهایشان و با مجذور فاصله‌شان تناسب عکس دارد.

نظریه هولوگرافیک Holographic theory

اندیشه آنکه حالتهای کوانتومی یک سامانه، در یک ناحیه فضازمان ممکن است روی مرز آن ناحیه رمزگذاری شود.

نظریه یانگ ـ میلز Yang-Mills theory

گسترشی بر نظریه میدانی ماکسول که بر هم‌کنش میان نیروی ضعیف و قوی را توصیف می‌کند.

نظریه یکپارچه Unifeid theory

هر نظریه‌ای که همه نیروها و همه ماده را در یک چارچوب یگانه توصیف کند.

نظریه یکپارچه بزرگ Grand Unification theory

نظریه‌ای که نیروهای الکترومغناطیس، هسته‌ای قوی و ضعیف را یکپارچه می‌سازد.

نوترون Neutron

ذره بی‌باری که بسیار مانند پروتون است و کمابیش نیمی از ذرات درون هسته را

تشکیل می‌دهد و از سه کوارک (دو تا پایین و یک بالا) ساخته شده است.

نوترینو Neutrino

یک گونه ذره بی‌بار که تنها نیروی ضعیف بر آن مؤثر است.

نیروی الکترومغناطیس Electromagnetic force

نیرویی که میان ذرات دارای بار الکتریکی همانند (یا متضاد) پدیدار می‌گردد.

نیروی ضعیف Weak force

دومین نیرو از نظر ضعف در میان چهار نیروی بنیادین، با برد بسیار کوتاه. همه ذرات مادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما تأثیری بر ذرات حامل نیرو ندارد.

نیروی قوی Strong force

قویترین نیرو از چهار نیروی بنیادین؛ برد آن از بقیه نیروها کوتاهتر است و کوارک‌ها را کنار هم نگه می‌دارد تا پروتون‌ها و نوترون‌ها ساخته شوند و پروتون‌ها و نوترون‌ها را کنار هم نگه می‌دارد تا هسته اتمی به‌وجود آید.

نیروی گرانشی Gravitational force

ضعیفترین نیرو از چهار نیروی بنیادین طبیعت.

وزن Weight

نیرویی که از سوی یک میدان گرانشی بر جسمی وارد می‌شود. این نیرو متناسب و نه یکسان با جرم آن جسم است.

هسته Nucleus

بخش مرکزی یک اتم، که تنها از پروتون‌ها و نوترون‌هایی ساخته شده است که با نیروی قوی کنار یکدیگر نگه داشته شده‌اند.

همجوشی هسته‌ای Nuclear fusion

فرایند برخورد دو هسته به هم و پیوستنشان برای شکل دادن هسته‌ای بزرگتر و سنگین‌تر.

خواندنیهای دیگر

کتابهای مردم‌پسند بسیاری هست که در میانشان نوشته‌های خیلی خوب مانند جهان زیبا و نوشته‌های بی‌اهمیت (که نام نخواهم برد) یافت می‌شود. پس فهرست خود را به نویسندگانی محدود می‌کنم که کمک بزرگی به این رشته کرده‌اند و تجربه معتبری را انتقال داده‌اند.

از آنها که به خاطر ندانستن من از قلم افتاده‌اند، پوزش می‌خواهم. فهرست دوم نیز به نام «نوشته‌های فنیتر» برای خوانندگانی که متنهای پیشرفته‌تر را می‌خواهند پی‌گیرند فراهم آمده است.

Einstein, Albert. ***The Meaning of Relativity***, Fifteen Edition.
Princeton: Princeton University Press, 1966.

Feynman, Richard. ***The Character of Physical Law.***
Cambridge, Mass: ***MIT Press***, 1967.

Greene, Brian. ***The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory New York, W. W.*** Norton & Company, 1999.

Guth, Alan H. ***the Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins.***
New York: Perseus Books Group, 2000.

Rees, Martin ***J. Our Cosmic Habitat.***
Princeton: Princeton University Press, 2001.

Rees, Martin *J. Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe.* New York: Basic Books, 2000.

Thorne, Kip. ***Black Holes and Time Warps: Einstein's*** Outrageous Legacy. New York: W. W. Norton & Company, 1994.

Weinberg, Steven. ***The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe***, Second Edition.
New York: Basic Books, 1993.

نوشته‌های فنیتر

Hartle, James. Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity. Reading, Mass: Addison-Wesley Longman, 2002.

Linde, Andrei D. Particle Physics and Inflationary Cosmology.
Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers, 1990.

Misner, Charles W., Kip S. Thorne, John A. Wheeler. Gravitation.
San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1973.

Peebles, P. J. Principles of Pbysical Cosmology. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1993.

Polchinski, Joseph. String Theory: An Introduction to the Bosonic String. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

Wald, Robert M. General Relativity.
Chicago: University of Chicago Press, 1984.